



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYTÉMŮ A  
ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# **PROGRAMOVÉ MODULY AUTOMATICKÉHO NASTAVOVÁNÍ NÁSTROJŮ U SOUSTRUŽNICKÝCH CENTER**

**CREATING OF SW MODULES FOR SETTING OF LATHE TOOLS USING NO CONTACT LASER  
MEASURINGDEVICE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Rolenc**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. František Bradáč, Ph.D.**

BRNO 2011



ZDE BUDE VLOŽENO ORIGINÁLNÍ  
ZADÁNÍ



## **Anotace**

### **Programové moduly automatického nastavování nástrojů u soustružnických center**

Tato diplomová práce pojednává o možnostech použití dotykových sond, především pak sond nástrojových. Teoretická část se zabývá principy, na kterých sondy pracují, a možnostmi jejich použití. Praktická část se zabývá vytvořením programového modulu pro semiautomatickou kontrolu nástrojů u NC soustruhu.

Klíčová slova: dotyková sonda, měření nástrojů, programové moduly

## **Annotation**

### **Creating of SW modules for setting of lathe tools using no contact laser measuring device**

This master's thesis is about possibilities of using touch probes, especially tool probes. Theoretical part of thesis is about principles, which probes use for their function, and about possibilities of application. Practical part is devoted creating sw modules for semiautomatic tool control for NC turning machine.

Keywords: touch probe, tool measuring, software moduls



### **Bibliografická citace**

Rolenc Martin. Název: *Programové moduly automatického nastavování nástrojů u soustružnických center*. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2011, 59 s.  
Vedoucí diplomové práce Ing. František Bradáč, Ph.D.





## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jen literaturu a jednotlivé prameny uvedené v seznamu použité literatury, která je součástí této diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

Bc. Martin Rolenc



**Poděkování:**

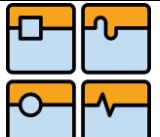
Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Františku Bradáčovi Ph.D. za odborné vedení a poskytnuté informace, kterými významně přispěl ke zpracování této diplomové práce. Dále pak děkuji Ing. Polzerovi za seznámení s prostředím programu Sinutrain. Rovněž musím poděkovat p. J. Dočekovali ze společnosti Siemens a p. V. Jackovi z Renishaw za odborné rady k dané problematice.



## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b>	3
<b>2. PRINCIP MĚŘENÍ</b>	4
2.1 Bezkontaktní měření	4
2.2 Kontaktní měření	6
<b>3 PRINCIPY DOTYKOVÝCH SOND</b>	6
<b>4 MOŽNOST POUŽITÍ KONTAKTNÍHO MĚŘENÍ</b>	10
4.1 Ustavení dílce pomocí sondy	10
4.1 Měření obrobku pomocí sondy	11
4.3 Automatické nastavení a kontrola nástrojů	12
<b>5 PARAMETRY DOTYKOVÝCH SOND</b>	14
5.1 Přesnost snímání	14
5.2 Reprodukovatelnost snímání	14
5.3 Vliv dotykového hrotu a snímacího talíře	14
5.4 Přenos signálu	15
5.5 Kalibrace dotykových sond	15
<b>6. TYPY POUŽÍVANÝCH NÁSTROJOVÝCH SOND PRO OBRÁBĚCÍ CENTRA</b>	16
<b>7. TYPY POUŽÍVANÝCH NÁSTROJOVÝCH SOND PRO NC SOUSTRUHY</b>	17
7.1 HPR - High Precision Removable Arm	17
7.2 HPPA High precision pulldown arm	18
7.3 HPMA High precision motorised arm	18
7.4 Mida set	18
7.5 Mida Tool Eye	18
<b>8. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ</b>	19
8.1 Soustružnické centrum SPM16	19
8.1.1 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	20
8.2 Sonda RP3	21
8.2.1 CHYBY MĚŘENÍ	22
8.3 Výměnné břitové destičky (VBD)	23
8.3.1 TYPY OPOTŘEBENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK	24
8.3.2 ZÁKLADNÍ MECHANISMY OPOTŘEBENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK	25
8.3.3 KLASIFIKACE TYPU OPOTŘEBENÍ	26
8.4 Možnosti použití	27
8.4.1 DETEKCE TYPŮ POŠKOZENÍ	28
8.4.2 MOŽNÉ CHYBY MĚŘENÍ ZPŮSOBENÉ OBSLUHOU	28
<b>9. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b>	29
<b>10. PROGRAMOVÉ MODULY SEMIAUTOMATICKÉ DETEKCE NÁSTROJŮ</b>	30
10.1 Algoritmus detekce nástrojů	30
10.2 Princip měření	31
10.2.1 STARÁ KONCEPCE MĚŘENÍ	31
10.2.2 NOVÁ KONCEPCE MĚŘENÍ	31
10.3 Tvorba programových modulů	34
10.4 Schéma měření	35
10.5 NC Kód měření	37
<b>11. ZÁVĚR</b>	44
<b>12. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ</b>	45
<b>13. SEZNAM PŘÍLOH</b>	45
<b>14. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE</b>	46

15. PŘÍLOHY .....	1
-------------------	---

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	


## 1. ÚVOD

Téma diplomového projektu, které bylo vybráno, by mělo mít vyšší význam než se na první pohled zdá. Každý, kdo si přečte titulěk a nad danou problematikou se zamyslí, zjistí, že je to téma rozsáhlé a zajímavé, jelikož automatické odměřování je důležitou podmínkou při konstrukčním návrhu moderního obráběcího stroje (konstrukce rámu, elektroinstalace, atd.) a stává se z něj moderní trend. Automatická kontrola (nástroje, obrobku) významně zamezuje vlivu nepřesností při obrábění, zkracuje vedlejší časy a tím pádem vede ke zvýšení efektivity obrábění, snížení výrobních nákladů apod. Čas jsou peníze a čas strávený ručním nastavováním nástroje je časem, který může být využit lépe např. k obrábění.

Jedním z hlavních problémů, vyskytujících se u třískového obrábění je nestálá životnost výměnných břitů. Ta je vždy stanovena, ale bohužel hodnoty dosažené při obrábění se často liší. Dochází tak k předčasné nebo naopak pozdní výměně. Díky aktivní kontrole nástrojů lze však snadno kontrolovat míru opotřebení a tudíž lze s dostatečnou přesností určit dobu výměny.

Kontrolu lze provádět dotykově či bezdotykově, rozsáhlou škálou měřících sond od různých výrobců. Tématem této práce je pojednání o druzích těchto sond, konkrétně pak především sond taktilních, možnostech aktivního měření pracovních nástrojů a následného výběru užití v praxi s příkladem jeho použití.

Touto problematikou se zabývá spousta společností. Mezi světové špičky patří firmy Renishaw, Heidenhain, Blum Novotest nebo Marposs, které udávají ve velké míře trendy a postupy, používané u nejpresnějších měřících zařízení, používaných pro tyto typy operací. Rešerše je věnována především výrobkům těchto společností a možnostem použití dotykových sond u obráběcích center.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 2. PRINCIP MĚŘENÍ

Měření hotového obrobku je součástí obrábění už od jeho samotného počátku. Proto bylo vždy snahou si ho nějak zjednodušit, zrychlit a především zajistit jeho nejvyšší možnou přesnost. Počátkem byly různé pravítka či posuvné měřidla, která se digitalizovala a přibyla k ní i kontrola nástroje. V dnešní době je snaha o co pokud možno největší stupeň automatizace výrobního procesu a rovněž požadavek na kontrolu pracovních nástrojů, které používají výměnné břity. Proto je také zákazníkem při koupi nového stroje požadována možnost automatické kontroly nástroje a obrobku během výrobního procesu. Pomocí takové kontroly lze lépe kontrolovat opotřebení nástroje, ustavení obrobku nebo rozměry obrobených ploch.

Základní rozdělení odměřování u obráběcích strojů je na dotykové a bezdotykové měření. V našem případě se budeme zabývat pouze dotykovým měřením, ale není od věci něco málo zmínit i o druhé možnosti.

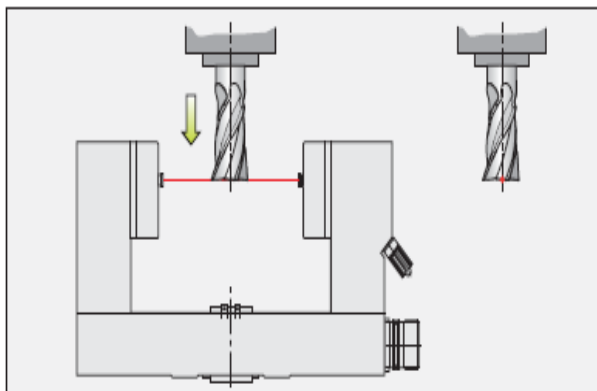
K měření se používají různé typy měřících sond. Postup měření je závislý na výrobci sondy. Ten dodává společně se sondou řídicí software stroje s měřícími cykly. Popř. je ve spolupráci s firmou, dodávající řídicí systém celého stroje, která dodá i měřící cykly pro sondu. Avšak princip měření je vždy stejný. Sonda i pracovní nástroj najedou do referenční polohy. Pomocí posuvů pracovní hlavy se několikrát pracovní nástroj dotkne (nebo přeruší světelný paprsek) snímacího talíře sondy a tím dojde k jejímu sepnutí. To je často světelně signalizováno pomocí LED diod na těle sondy. Hodnoty jsou pak pomocí řídicího systému přepočítány na korekce nástroje a zapsány do paměti stroje pro následné aplikace.

### 2.1 Bezkontaktní měření

Bezdotykové měření se používá ke kontrole zlomení nástroje, měření rozměrů (délka, průměr), kontrole jednotlivých břitů či házivosti nástroje. Hlavním kladem laserového měření je možnost měření obrysu tvarových nástrojů, používaných především při obrábění forem. Snímání těchto veličin probíhá pomocí laserového paprsku, který je vyslán z fixně uloženého vysílače a přijímán na stejně uloženém přijímacím zařízení.

Zařízení pracuje jako velmi přesná optická závora, která v jednom okamžiku dokáže zjistit všechny parametry nástroje při pracovních otáčkách a programově upraví jeho korekce pro daný obráběcí cyklus. Tento způsob je velmi rychlý a přesný. Měřící zařízení bývá upnuto na stole obráběcího stroje nebo na jeho rámu. Používaná koncepce je na Obr.1. Vysílač a přijímač je jedna společná jednotka s prostorem pro vložení nástroje.





Obr.1 - TL Nano-Zařízení pro bezkontaktní měření nástrojů u OC nebo frézek a způsob jeho použití pro měření délky nástroje [3]

Laserová měřidla pro měření nástrojů zajišťují díky optickému bezdotykovému měření kontrolu i těch nejmenších nástrojů rychle, bezpečně a bez kolize. Změření rozměrů nástroje probíhá v podmínkách odpovídajícím obrábění tzn. jsou zjištěny všechny nežádoucí vlivy jako při obrábění a jsou tím pádem odstraněny vady na nástroji. Měření probíhá automaticky díky automatickým měřicím cyklům, které komunikují z řídicím systémem pomocí kabelu či infračerveného přenosu signálu.

Tyto měřicí cykly jsou vždy různé podle výrobce sondy. Zpravidla zajišťují

- seřízení nástroje s automatickým přenosem dat do tabulky nástroje
- kontrolu opotřebení nástroje s korekcí dat nástroje nebo bez
- identifikaci dat nástroje

Jak již bylo řečeno, zařízení bývá zpravidla upnuto přímo na pracovním stole. Je tedy vystaveno padajícím třískám a chladicí kapalině. Měřidla proto musí být vybavena systémem ochrany optiky měřidel.

Na Obr. 1 je vidět jeden z typů zařízení pro bezkontaktní měření a zjednodušeně zobrazen princip funkce. Jedná se o typ TL Nano od společnosti Heidenhain.

## 2.2 Kontaktní měření

Historie dotykového měření sahá do 70.let minulého století, kdy v roce 1973 Sir David McMurtry (zakladatel společnosti Renishaw) vynalezl jednoduchou měřicí dotykovou sondu pro řešení speciálních kontrolních požadavků o motorů Olympus, používaných v nadzvukových letadlech Concord. Dal tak první větší impuls vzniku nového způsobu měření. Další vývoj dotekové sondy způsobil revoluci v měření a kontrole dílců ve strojírenství. [2]

Obdobně v r.1968 byla založena firma BLUM Novotest zabývající se problematikou měření nástrojů pomocí sond. [12]

První zmínka o laserových interferometrech používaných ke kalibraci nástrojů je u firmy HEIDENHAIN datována k roku 1965. [1]

První zmínka o nápadu procesního měření obrobku během obrábění se u firmy Marposs datuje už k roku 1952. [13]

Při měření nástroje se vyměněný nástroj, u soustruhu v revolverové hlavě, přisouvá k měřicímu čidlu, které je buď pevně namontováno nebo mechanickým přípravkem natočeno do pracovního prostoru. Automaticky zjištěná korekce se zapisuje do příslušného bloku s daty korekcí nástroje.

## 3 PRINCIPY DOTYKOVÝCH SOND

Doteková sonda funguje jako vysoce opakovatelný spínač pod hranici mikronů, který vyšle signál, jakmile je detekován měřený povrch. Přesnost spínání a opakovatelnost se liší podle použitého systému dotykové sondy, druhu použitého dotykového hrotu, potřebné síly pro vychýlení sondy apod.

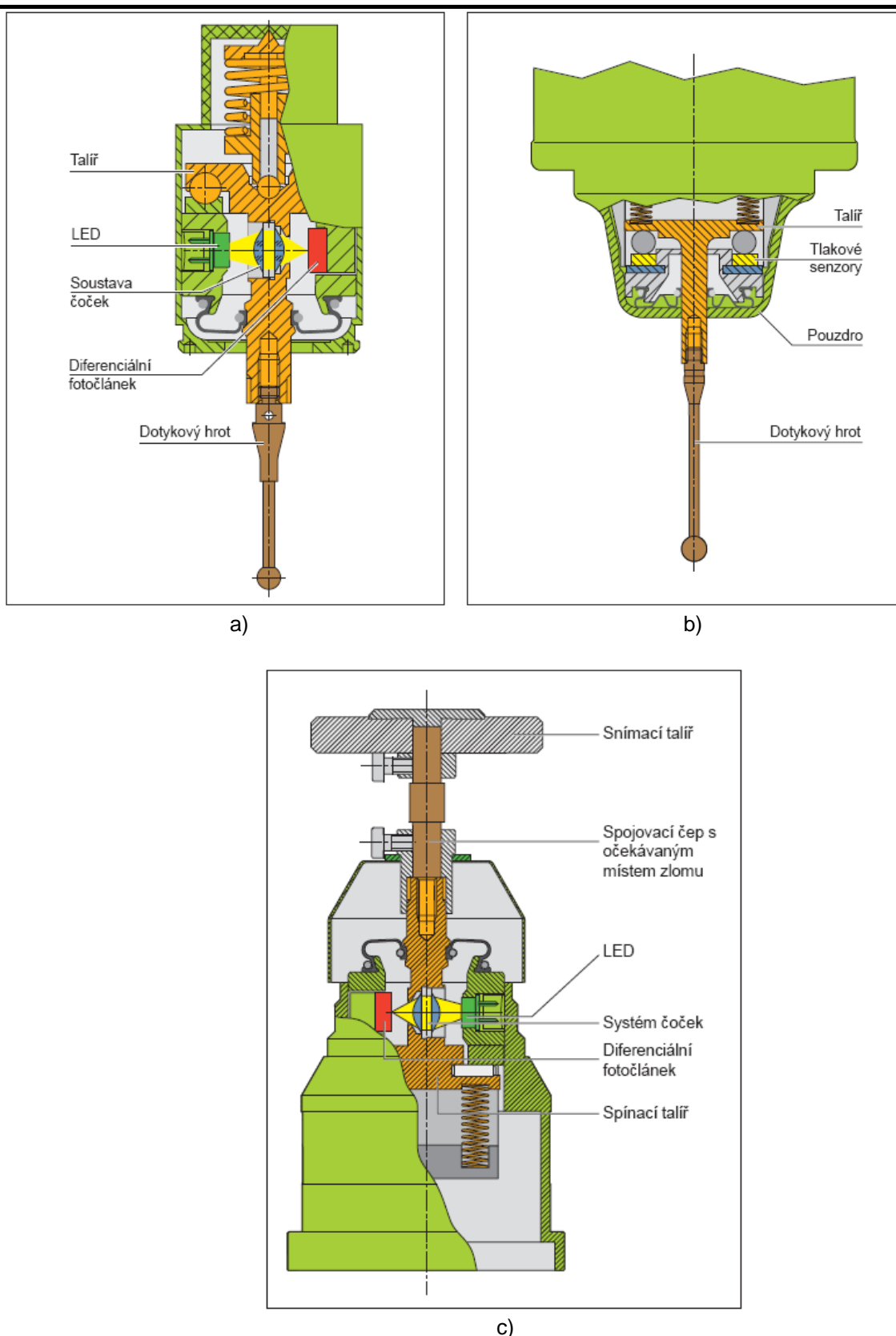
Principy sond používaných firmou Heidenhain pro měření obrobků jsou na Obr. 2. Na Obr. 2 a) je zobrazen princip sondy s dotykovým hrotem pracující s **jedním optickým snímačem jako senzorem**. Ten je umístěn v těle sondy. LED dioda vysílá světelné paprsky, které jsou zaostřeny pomocí soustavy čoček a dopadají na diferenciální fotočlánek jako světelný bod. Při vychýlení dotykového hrotu, vlivem jeho opření o plochu obrobku, dojde k vychýlení světelného paprsku. Na základě výchylky světelného bodu vygeneruje diferenciální fotočlánek spínací signál.

Dotykový hrot je připevněn k čepu nosného prizmatického talíře přes tzv. *střížný kolík*. Tato součást je opatřena vrubem a slouží jako bezpečnostní zařízení v případě neopatrnosti obsluhy stroje. Pokud by nástroj najel na sondu v ručním režimu, dojde ke zlomení střížného kolíku místo dotykového hrotu nebo celé sondy. Výměna střížného kolíku je cenově nesrovnatelná s cenou těchto dvou důležitých součástí.

Nosný talíř je uložen v tělese sondy pomocí třibodového ložiska, které zajišťuje fyzikálně ideální klidovou polohu. Na konci dotykového hrotu je umístěna broušená kulička z rubínu, karbidu wolframu, keramiky apod.. Materiály se odlišují podle použití v různě náročných prostředích. Kulička proto, aby sonda měla zajištěnou funkci v rozsahu celých 360°. Na tomto principu pracuje sonda bez mechanického opotřebení. Rovněž je tím zaručena vysoká životnost, dlouhodobá stabilita a spolehlivý provoz. Sonden jsou vybaveny normovaným samosvorným zařízením pro snadné zasunutí do pracovní hlavy stroje a do zásobníků pracovních nástrojů. Splňují tak velmi důležitý požadavek stavebnicovosti výrobních strojů.

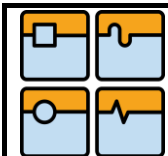


## DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr.2 Principy funkce snímací dotykové sondy a) s dotykovým hrotem s optickým snímačem, b) s dotykovým hrotem s piezo snímačem, c) princip 3D dotykové sondy pro měření nástrojů [3]

Na Obr. 2 b) je zobrazen princip s **vysoce přesným piezo senzorem**. Spínací signál se vytváří na základě elektronické analýzy působící síly. Vychýlením



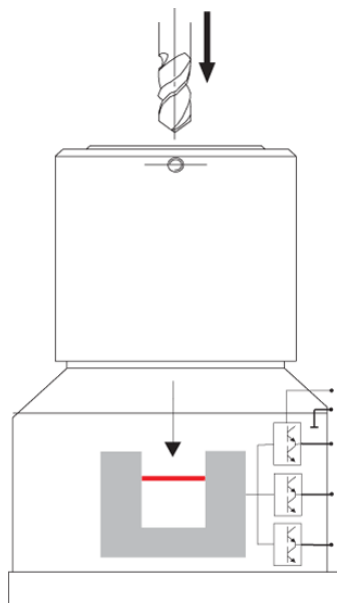
dotykového hrotu dojde k působení síly na piezo senzory uložené po obvodu talíře. Elektrické signály z jednotlivých senzorů jsou přepočítány a je vygenerován spínací signál. Piezo senzory jsou velmi citlivé na působící sílu. Proto je pro vznik signálu potřebná malá vychylovací síla. Díky tomu má tento princip velmi vysokou přesnost a reprodukovatelnost řádově v jednotkách  $\mu\text{m}$ .

První dva principy se používají především pro měření obrobků. Třetí možnost je určena pro kontrolu nástrojů.

Opět se jedná o systém s **optickým snímačem jako senzorem**. Pouze v koncepci pro nástrojové sondy. Tělo sondy je robustnější. Spodní část je konstruována tak, aby bylo možno sondu přichytit pomocí šroubů. Princip je zobrazen na Obr. 2 c). Snímací talíř je spojen se soustavou čoček, přes které prochází světelný signál, vysílaný LED diodou, na diferenciální fotočlánek. Při vychýlení spínacího talíře dojde k vychýlení světelného bodu. To má za následek sepnutí sondy a vyslání signálu řídicímu systému. Ten jej uloží do tabulky dat nástroje pro další operace.

Spínací talíř je opět uložen na třibodovém ložisku a se snímacím talířem je spojen pomocí střižného kolíku.

Společnost BLUM používá u dotykových sond pouze optoelektronický princip popsaný výše. V těle sondy je umístěna malá velmi přesná optická závora, která při vychýlení talíře sondy vyše signál řídicímu systému. Pro měření nástrojů je používán opět kruhový snímací talíř, nebo talíř válcového tvaru. Princip je zjednodušeně vidět na Obr. 3a), možnosti použitých snímacích talířů na Obr. 3b).



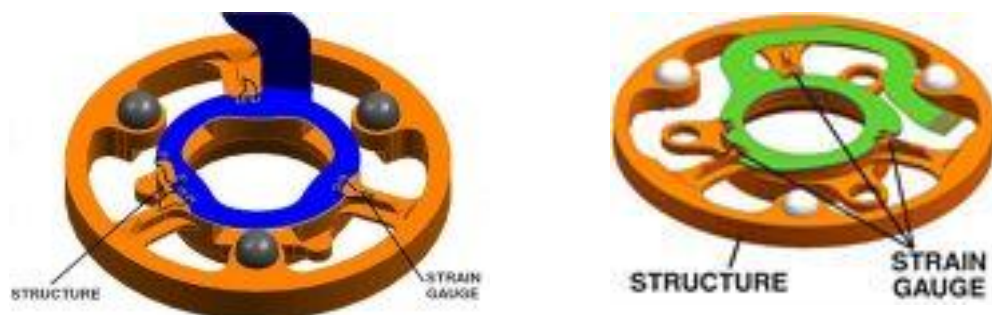
Obr. 3 a) Princip sondy BLUM [12]



Obr. 3b) Tvary používaných snímacích talířů [2,12]

Další s možností je princip tzv. **kinematické sondy**. Podobně jako u předešlých případů je i zde talíř v tříbodovém uložení, zajišťujícím ideální klidovou polohu. S tím rozdílem, že každé uložení tvoří dvě kulové plochy a jedna válcová a v místě styku tvoří elektrický kontakt. Při vychýlení snímacího talíře dojde k rozpojení jednoho nebo dvou kontaktů a vyslání signálu řídicímu systému, který hodnoty přepočítá a určí rozměry měřeného prvku.

Poslední s používaných možností je detekce vychýlení pomocí **tenzometru**. Tenzometr je součástka používaná k měření neelektrických veličin prostřednictvím jeho deformace. Ve speciálně upraveném talíři sondy je umístěn tvarovaný tenzometrický pásek. V případě vychýlení snímacího talíře dojde k deformaci sondy a změně jeho vnitřního el. napětí. To má za následek sepnutí sondy. Tento princip má velmi vysokou přesnost a dosahuje se tak velmi nízkých hodnot opakovatelnosti. Řádově v desetinách  $\mu\text{m}$ . Tvar a uložení tenzometru lze vidět na Obr. 4.



Obr. 4. Tvar a uložení snímacího tenzometru u obrobkových sond [4,5]

## 4 MOŽNOST POUŽITÍ KONTAKTNÍHO MĚŘENÍ

Taktilní nebo-li kontaktní měření se v oblasti strojního obrábění používá především pro měření obrobkové a nástrojové. Trendem u moderních obráběcích strojů je snaha dosáhnout jak automatické kontroly obrobku, tak i kontroly nástroje, čímž vysokou mírou roste přesnost a efektivita stroje a hlavně jeho využití.

Ruční kontrola obrobku, nastavování nástroje a měření jsou operace velmi časově náročné a náchylné na chybu obsluhy. Díky použití sond lze provádět měření přímo na stroji a není nutné přenášet obrobek či nástroj do jiného měřicího stroje. Navíc jsou naměřené hodnoty automaticky ukládány do programových tabulek, čímž opět dochází k odstranění chyb při ručním zadávání.

### Výhody automatické kontroly:

- zkrácení doby pro seřízení nástrojů a ustavení obrobku
- snížení zmetkovitosti způsobené špatným seřízením
- zlepšení procesu
- detekce poškozených nástrojů
- zvýšení bezpečnosti

Při použití kontaktní sondy, lze její funkce využít v následujících případech:

### **4.1 Ustavení dílce pomocí sondy**

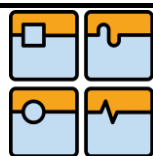
Ustavování dílu polotovaru před samotným obráběním pomocí sondy snižuje náklady na drahé upínače a na ruční ustavení obrobků číselníkovými úchytkoměry. Tento způsob má řadu výhod jako např.:

- eliminace chyb ručního nastavení
- snížení počtu zmetků
- zvýšení produktivity a flexibility výroby [2]

Tuto variantu lze použít např. pro vyrovnání obrobku. Sonda zjistí jeho polohu a CNC řízení natočí základní souřadný systém, popř. natočí otočný stůl do požadované polohy. V takovém případě již není nutné použití upínačů.

Druhá možnost je použití pro nastavení vztažného bodu obrobku. Sonda několika doteky zjistí umístění předmětu na pracovní ploše (dle CNC programu pro danou součást). Řízení pak přepočítá a uloží do paměti stroje požadované souřadnice vztažného bodu pro aktuální součást.

Jednoduché příklady použití lze vidět na Obr. 5 a)b).

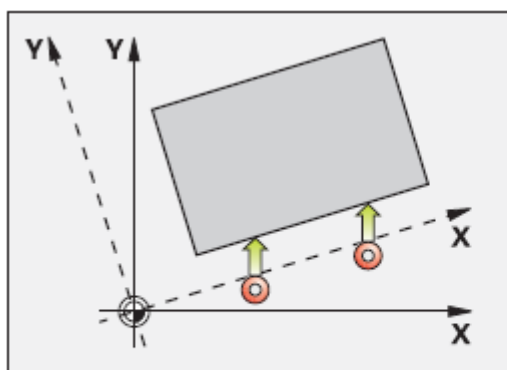


#### 4.1 Měření obrobku pomocí sondy

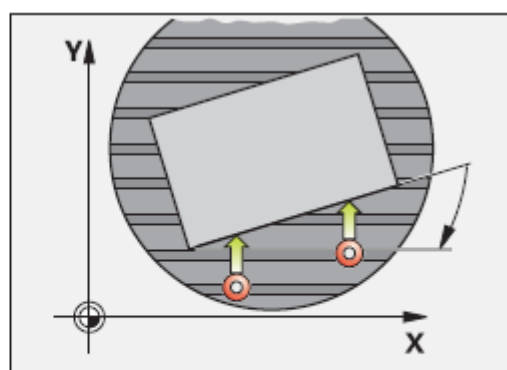
Použití tohoto způsobu je velmi výhodné. Měření se používá při mezi procesních operacích nebo při kontrole prvního kusu výrobní dávky. Ruční měření na stroji závisí především na dovednosti obsluhy a měření mimo stroj je spojeno s další obtížnou manipulací. Měření obrobku přímo na stroji má řadu výhod např.:

- Automatická korekce chyb během obráběcího cyklu
- Adaptivní obrábění zajišťující zpětnou vazbu procesu a minimalizaci odchylek
- Automatická korekce nastavení po proměřeného prvního kusu

Jednoduchý příklad použití kontroly rozměrů obrobku je uveden na Obr. 5 c).

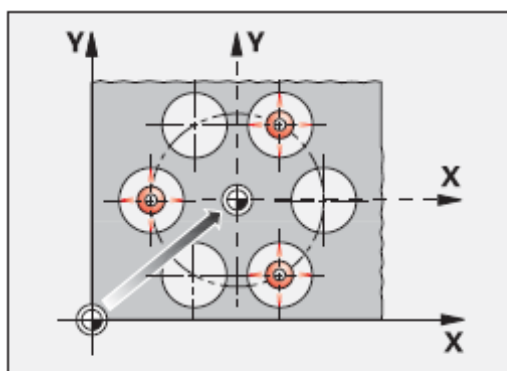


Kompenzace šikmé polohy (odklonu) pomocí základního natočení souřadného systému

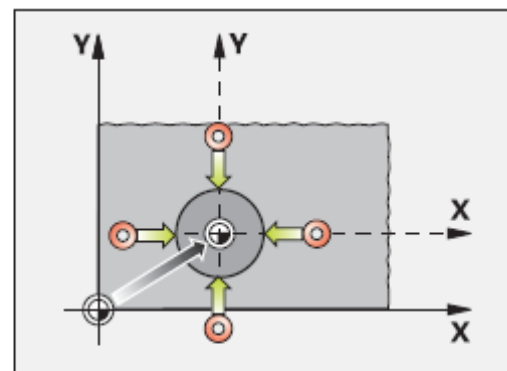


Kompenzace šikmé polohy (odklonu) pomocí natočení otočného stolu

Obr. 5 a) – příklady použití sondy pro vyrovnání obrobku [3]



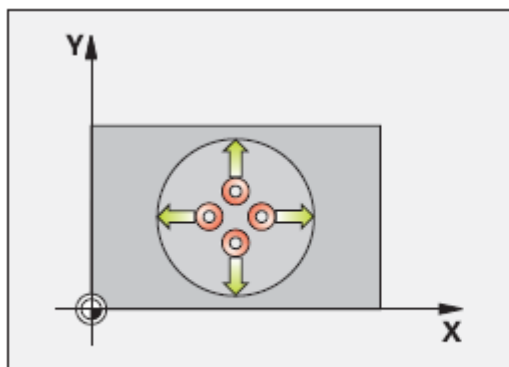
Střed roztečné kružnice



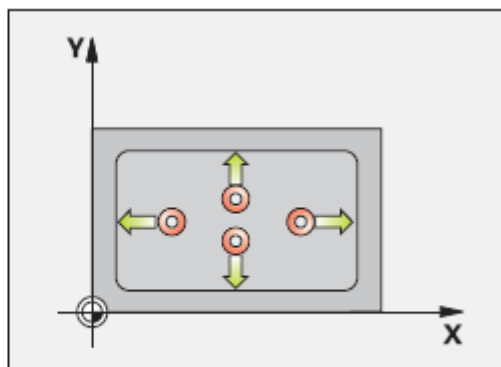
Střed kruhového čepu

Obr. 5 b) – příklady použití sondy pro kontrolu ustavení obrobku [3]





Proměření kruhové kapsy / otvoru



Proměření pravoúhlé kapsy

Obr. 5 c) – Jednoduché příklady použití sondy pro kontrolu obrobených rozměrů [3]

### 4.3 Automatické nastavení a kontrola nástrojů

Pomocí dotkových sond lze změřit velikost nástroje před začátkem obrábění a kontrolovat jeho stav nebo poškození během procesu obrábění. Ruční kontrola nástrojů pomocí koncových měrek a následné ruční zapisování korekcí nástrojů do tabulky dat je zdoluhavé, pracné a nepřesné a často vyžaduje demontáž a opětovnou montáž nástroje. Pomocí dotkových sond lze docílit automatizovaného provozu s těmito výhodami:

- Značná úspora času
- Přesné měření délek a průměrů nástroje
- Automatický výpočet velikosti opotřebení a korekce rozměrů
- Odstranění chyb ručního nastavování
- Detekce zlomení nástroje v průběhu obrábění
- Snížení počtu zmetků
- Zvýšení produktivity

Používány jsou 2 koncepce dotkových sond. Jejich hlavní rozdíl je v umístění a upevnění sondy. Pro měření nástrojů je použit princip sondy s optickým snímačem. Sonda pracuje na principu velmi přesného spínače, který má přesně danou svou polohu.

Pro vertikální soustruhy, vertikální OC a horizontální OC se používá systém sondy připevněné k pracovní desce posuvného či otočného stolu. Tím je zajištěná dostatečná tuhost měřicího systému a zároveň určena přesná poloha sondy. Dotkový hrot směřuje ve směru osy Z nebo Y a je na konci opatřen kruhovým snímacím talířem. Při měření délky nástroje nebo detekci jeho poškození se nástroj pohybuje vůči sondě ve směru osy dotkového hrotu, poloměrová korekce rotačních nástrojů může být nastavena ve zbývajících dvou osách.

Měření probíhá při stojícím či rotujícím vřetenu a lze jím měřit délky a průměry nástrojů a rovněž i rozměry jednotlivých břitů. Získané hodnoty uloží CNC řízení do tabulky dat nástrojů pro další zpracování v NC programech.

Většina výrobců pro své sondy dodává i měřící cykly, popř. jsou ve spolupráci s výrobcí řídicích systémů, kteří pro ně měřící cykly vyvíjejí. Proto jsou částečně





odlišné. V případě měření nerotujícího nástroje je princip stejný. V měření rotujících nástrojů se může lišit vzhledem k použitým vzorcům pro přepočet otáček a rychlostí posuvu.

Součástí sond je také rozhraní pro komunikaci s řídicím systémem (interface). Komunikace probíhá buď kabelem nebo opticky, pomocí světelného paprsku.

Konstrukce sond od různých firem je vidět na Obr. 6., princip měření na Obr.7.



Obr. 6. Typy dotkových sond pro vertikální obráběcí stroje a) firmy Heidenhain [1] b) firmy Renishaw [2]



Obr. 7. Princip měření délky a průměru nástroje u horizontálních obráběcích strojů [3]

Pro horizontální soustruhy se používají speciální výklopná ramena, na jejichž konci je upevněna měřicí sonda opatřená dotkovým hrotem tentokrát talířem čtvercového tvaru tzv. kostkou. Vychýlením sondy dochází opět k jejímu sepnutí. Sonda vyšle signál řídicímu systému a ten opět uloží data pro další zpracování v NC programech.

Rameno je připevněno k rámu stroje. I zde musí být dosažena co nejvyšší tuhost systému a proto musí být stroj vybaven dostatečně tuhým připojovacím prvkem např. speciálně upravenou konstrukcí vřeteníku nebo stojanu stroje, ke které lze následně měřící rameno připevnit. Stroje které nejsou k montáži sondy konstrukčně upraveny už při výrobě lze pro montáž sondy upravit. Z toho důvodu probíhá komunikace sondy s řízením pomocí kabelu. Sonda se totiž nepohybuje v pracovním prostoru narozdíl od předchozího typu sond. Hrot dotkové sondy směřuje ve směru osy Y. Měření probíhá vždy ve směru osy Z a osy X.. Dva rozměry stačí pro určení všech potřebných parametrů nástroje. Měří se délka nástroje a jeho vysazení (v případě nožů), nebo délka a průměr (v případě středících vrtáků). Rovněž se provádí kontrola opotřebení a zlomení pracovního břitů.

## 5 PARAMETRY DOTYKOVÝCH SOND

### 5.1 Přesnost snímání

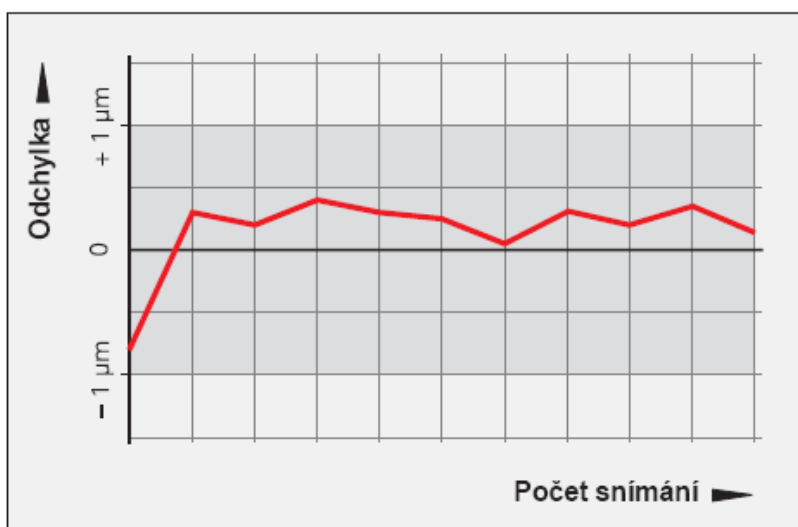
Přesnost snímání je maximální hodnota odchylky zjištěná při snímání zkušebního vzorku. Vzorek je snímán z různých směrů při okolní teplotě 20°C.

Přesnost snímání závisí také na efektivním poloměru snímacího talíře, tj. skutečný poloměr talíře a nutné vychýlení dotykového hrotu potřebného k vygenerování spínacího signálu.

Přesnost jednotlivých sond se zjišťuje na přesných měřicích strojích.

### 5.2 Reprodukovatelnost snímání

Reprodukovatelností systému se rozumí hodnota maximální odchylky, ke které dojde po opakovaném snímání zkušebního vzorku. Hodnota se udává pro 2 opakování v ose měření. Graf reprodukovatelnosti je na Obr. 8. Dle grafu lze vidět, že může být pro sondu, která udává reprodukovatelnost např.  $\pm 0,5 \mu\text{m } 2\sigma \text{ X/Z}$ , tzn. že při měření v osách X a Z dojde k maximální odchylce  $\pm 0,5 \mu\text{m}$  při opakovaném měření. Hodnoty jsou vždy udávány pouze referenční pro jednu (popř. i více) rychlost posuvu najíždění na sondu. Při větší či menší rychlosti není zaručena stejná hodnota přesnosti snímání a reprodukovatelnosti.



Obr. 8. Graf reprodukovatelnosti dotykové sondy [3]

### 5.3 Vliv dotykového hrotu a snímacího talíře

Materiál a velikost snímacího talíře pro měření nástrojů (dotykového hrotu pro obrobky) má velký vliv na přesnost a reprodukovatelnost měření. Jako materiál pro nástrojové sondy se používá wolframová ocel. Pro sondy obrobkové se používá místo měřicího talíře kulička vyrobená ze syntetického rubínu, nitridu křemíku či oxidu zirkoničitého aj. materiálů.

Velikost doteku se volí podle velikosti nástroje (velikosti obrobeného tvaru). Platí pravidlo čím větší nástroj tím větší sonda. Dotykový hrot je k sondě připevněn

přes střižný kolík, tj. součást s vrubem, která se zlomí ,v případě většího než dovoleného vychýlení sondy, a nedojde tak k poškození sondy samotné.

### **5.4 Přenos signálu**

Způsob komunikace sondy s řídicím systémem je dalším důležitým parametrem. Možnosti komunikace jsou:

- Kabelová – nejjednodušší možnost používaná pouze u nástrojových sond
- Optická – pracující se světelným zářením v infra spektru. Vysílací zařízení musí vidět přijímač – obě zařízení v pracovním prostoru stroje. Dosah cca. 4m
- Rádiová – nejdokonalejší způsob. Signál prostupuje i kovovými předměty, tzn. možnost umístění přijímače mimo stroj. Dosah cca. 15m.
- dříve používaná induktivní

### **5.5 Kalibrace dotkových sond**

Aby bylo možné přesně určit bod sepnutí, musí software znát velikost a polohu doteku. Kalibrací sondy přesně určíme vzájemnou polohu sondy a vřetene. Kalibraci je nutno provést:

- před prvním použitím sondy na stroji
- po každé výměně nebo úpravě doteku
- po provedení jakékoliv úpravy a nastavení sondy
- pokud existují podezření že došlo ke změně polohy sondy

Přesný postup kalibrace je specifický pro každý stroj, řídicí systém a použitý software. Provádí se použitím referenčního nástroje, u kterého známe přesné rozměry. Rovněž je nutné provádět re-kalibraci sond, podle počtu prováděných cyklů za den (např. jednou za 6, 3,1 měsíců)

## 6. TYPY POUŽÍVANÝCH NÁSTROJOVÝCH SOND PRO OBRÁBĚCÍ CENTRA



Obr 9 a) OTS – OPTICAL TOOL SETTING b) TS27R – TOOL SETTING PROBE (Renishaw) c) TT140 – TOOL TOUCH PROBE WITH CABLE CONNECTION, d) TT449 – TOOL TOUCH PROBE WITH INFRARED TRANSMISSION (Heidenhain) [1,2]

Název	OTS	TS27R	TT140	TT449
<b>komunikace</b>	infra-červený optický přenos	kabelem	kabelem	infra-červený optický přenos
<b>Jednosměrná opakovatelnost</b>	1 $\mu$ m	1 $\mu$ m	1 $\mu$ m při rychlosti 1m/min, 4 $\mu$ m při rychlosti 5m/min	1 $\mu$ m při rychlosti 1m/min
<b>Spínací síla doteku</b>	1,3 - 2,4 N	1,3 - 2,4 N	axiální: cca 8 N radiální: cca 1N	
<b>Hodnoty maximálního vychýlení</b>	$\pm 3,5$ mm v osách X,Y 6 mm v ose Z	$\pm 10^\circ$ osách X,Y 5,5 mm v ose Z	$\leq 5$ mm ve všech směrech	$\leq 5$ mm ve všech směrech
<b>Stupeň krytí</b>	IP X8	IP X8	IP 67	IP 67

Tab. 1) Parametry nástrojových sond od firem Renishaw a Heidenhain [1,2]



Obr 10. Z Nano [12]

Název	Z Nano	Z-3D
<b>komunikace</b>	kabelem	kabelem
<b>Jednosměrná opakovatelnost</b>	0,5 $\mu$ m standartní 0,2 $\mu$ m vysoká	1 $\mu$ m
<b>Spínací síla doteku</b>	axiální: 2,2 N radiální: 3 N	axiální: 8 N radiální: 1 N
<b>Hodnoty maximálního vychýlení</b>	10 mm ve všech směrech	5 mm ve všech směrech
<b>Stupeň krytí</b>	IP 68	IP 67

Tab. 2) Parametry sond BLUM [12]

**Stupeň ochrany krytí** – písmena IP jsou označení krytí.

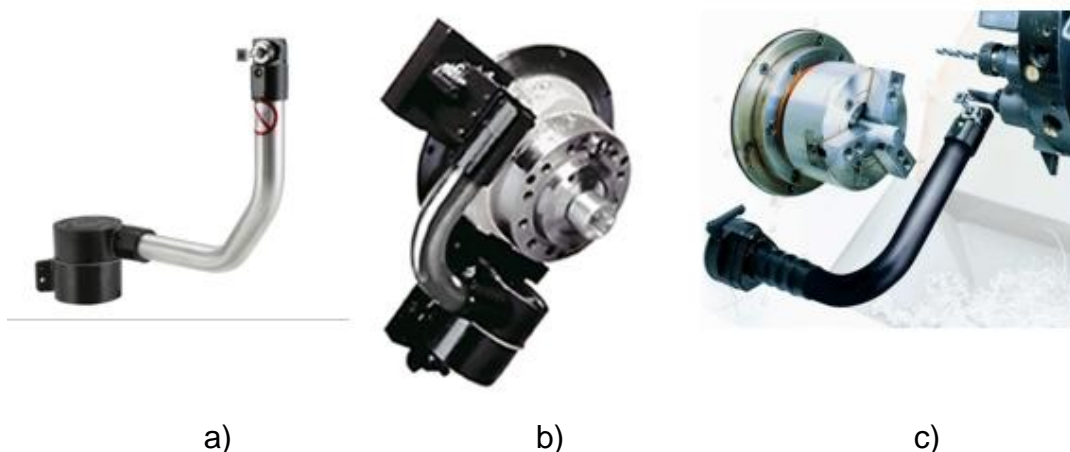
První číslice - stupeň ochrany před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles (X – nechráněno, 6 – zařízení je prachotěsné a chráněno proti dotyku drátem)

Druhá číslice – stupeň ochrany proti vniknutí vody (5 – chráněno proti tryskající kapalině, 7 – chráněno proti dočasnému ponoření, 8 – chráněno proti trvalému ponoření) [7]

## 7. TYPY POUŽÍVANÝCH NÁSTROJOVÝCH SOND PRO NC SOUSTRUHY

Pro vertikální NC soustruhy a soustružnická centra je používána koncepce měřícího ramene od společností Renishaw nebo Marposs. Existují 3 možnosti použití lišící se stupněm automatizace. Základní výhodou použití sond pro měření nástroje je úspora času.

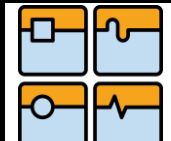
Ramena dosahují vysokých přesností i při opětovném vyklápení ramene do měřící pozice. Avšak v dnešní době se tato koncepce příliš nepoužívá a je vytěsněna právě bezdotykovou metodou, která je rychlejší a přesnější. Další nevýhodou jsou omezené schopnosti měření. Pomocí ramen lze pouze nastavit rozměry nástroje a detekovat zlomení břitové destičky.



Obr. 11 Jednotlivé typy měřících ramen používaných u CNC soustruhů – a)HPPA rameno sklápěné ručně b)HPMA rameno sklápěné motoricky c)HPRA odnímatelné rameno [6]

### 7.1 HPRA - High Precision Removable Arm

– Odnímatelné rameno s vysokou přesností (Obr. 11c) – Sklápěcí rameno je umístěno v držáku mimo pracovní prostor stroje. V případě potřeby měření nástrojů je obsluhou připevněno, provedeno měření a opět odejmuto z pracovního prostoru. Pro připevnění je rám stroje vybaven upínacím zařízením a je možno jej aplikovat i na stroje v provozu. Připojovací zařízení je chráněno těsněním proti vniknutí kapaliny a nečistot. Rameno je vybaveno sondou RP3. Jelikož musí obsluha při každém měření upínat rameno do pracovního prostoru, je tato možnost časově nejnáročnější.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 7.2 HPPA High precision pulldown arm

– Vysoce přesné ručně sklápěné rameno (Obr. 11a). K rámu stroje je připevněno rameno, které má v základu rotační kinematickou vazbu. Ta umožňuje ruční vyklopení do měřicí pozice (*arm ready*) a její opětovné sklopení do pozice umožňující obrábění (*machine ready*). LED signalizace signalizuje zda je rameno připraveno k použití. V tomto případě odpadá nutnost montáže ramena před měřením, ale stále zůstává nutnost obsluhy. Při zaklopení ramene je rám stroje vybaven krytem pro umístění sondy, zabraňujícím jejímu poškození

## 7.3 HPMA High precision motorised arm

– Vysoce přesné motoricky sklápěné rameno Obr.11b). Konstrukční provedení je stejné jako u předešlého typu. S tím rozdílem že rameno již není sklápěno ručně ale motoricky. Vyklápí se z pozice MACHINE READY do pozice ARM READY pomocí signálu z řídicího systému. Tato možnost je nejrychlejší. Rameno zabírá velmi malý prostor v zástavbě stroje. V případě jeho sklopení do pozice MACHINE READY není možné aby došlo ke kolizi pracovní hlavy s ramenem.

Všechny 3 koncepce jsou vybaveny měřicí sondou RP3.

## 7.4 Mida set

– Odnímatelné rameno s vysokou přesností od společnosti Marposs. Obdoba HPRA. Rameno je opět umístěno ve stojanu mimo pracovní prostor stroje a je přimontováno jen v případě měření.

## 7.5 Mida Tool Eye

- Opět řešení od Marpossu podobné jedné ramenu HPMA. Rameno se sondou je umístěno v prostoru stroje a je sklápěno pomocí rotační kinematické vazby. Sklápění probíhá motoricky. Sonda je opět vybavena krytem sondy v případě obrábění a LED signalizací.

Ramena Mida set a Mida Tool Eye jsou vybaveny sondou TT30. Charakteristické parametry ramen a sondy TT30 od společnosti Marposs jsou v Tab. 3.





Aplikace	nastavení nástrojů a detekce zlomení nástroje u CNC soustruhů	
Opakovatelnost (při rychlosti najíždění 36 mm/min)	velikost sklíčidla 6"-15"	2σ ≤ 5μm
	velikost sklíčidla 18"-24"	2σ ≤ 8μm
Stupeň krytí	IP65 s ramenem IP67 báze s krytem	
Sonda TT30		
Způsob komunikace	kabelem	
Maximální spínací síla doteku	osa X/ osa Z	0,75 N - 1,6 N
	osa Y	12 N
Hodnoty maximálního vychýlení	osa X/ osa Z	9,5 mm
	osa Z	3,5 mm
Citlivost	Sepnutí možné v 5 směrech	
Jednosměrná opakovatelnost	2σ ≤1 μm (při použití 25 mm dotykového hrotu)	
Pracovní teplota	5° - 60°C	
Skladovací teplota	-10° - 70°C	

Tab. 3. Parametry ramen od firmy Marposs a sondy TT30 [13]

## 8. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ

Vzhledem k tomu, že zadání práce je zaměřeno na soustružení, měla by praktická část probíhat na soustružnickém centru SPM16 od společnosti KOVOSVIT (viz Obr.12.). Zvolená koncepce měření, je motoricky vyklápěné rameno HPMa od společnosti Renishaw. Bohužel však daný stroj nebylo možné používat kvůli rekonstrukci haly a následným technickým problémům. Proto daná problematika bude dopodrobna probrána teoreticky.

### 8.1 Soustružnické centrum SPM16



Obr 12. – Soustružnické centrum SPM 16

Soustružnické centrum SPM 16 pochází z dílny společnosti MAS Kovosvit, jednoho z nejvýznamnějších výrobců soustruhů v ČR. Stroj je řízen řídicím systémem Sinumerik 840D od společnosti Siemens a je vybaven ramenem HPMa od společnosti Renishaw se sondou RP3.

Technická specifikace stroje je v Tab. 4.



Rozměry	mm	2800 x 1505 x 1920
Hmotnost	kg	4300
Pracovní rozsah		
Oběžný průměr nad ložem	mm	535
Max. průměr obrobku	mm	180
Max. délka obrobku	mm	400
Vřeteno		
Přední konec vřetena (DIN 55026)		A6
Vrtání vřetena	mm	76
Průměr upínacího pouzdra	mm	210
Max. upínací průměr	mm	65
Pohon		
Výstup motoru S1/S2 (30 min)	kW	20/27,5
Rozsah otáček vřetena	ot./min	60 - 5000
Max. posuv osy X	mm	181
Rychloposuv osa X	m/min	21
Max. posuv osy Y	mm	100 (±50)
Rychloposuv osa Y	m/min	21
Max. posuv osy Z	mm	485
Rychloposuv osy Z	m/min	24
Počet pozic v nástrojové hlavě	-	12

Tab. 4 – Technické parametry soustružnického centra SPM16

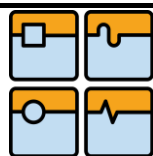
### 8.1.1 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM

Řídícím systémem u SPM 16 je systém Sinumerik 840D. Skládá se z průmyslového PC a PLC. Přesnost opakovaného měření tohoto systému při „letném měření“ je  $\pm 1\mu\text{m}$ .

Z důvodu odstavení stroje je tvorba programových modulů provedena v simulačním programu Sinutrain 6.3 Ed. Tento program je volně stažitelný jako zkušební čtrnáctidenní verze.

Po stránce hardwarové tvoří řídicí systém průmyslové PC doplněné o PLC (programovatelný logický kontrolér). Průmyslové PC je oproti běžnému PC přizpůsobeno vyšším teplotám okolí, vysoké prašnosti a možnosti znečištění (např. důkladnějším krytváním, výkonnějším chlazením apod.). Hlavní výhodou průmyslového PC je možnost řízení procesu v reálném čase. PLC je zařízení sloužící k přímé komunikaci s různými druhy senzorů použitými ve stroji (kontrola hladiny oleje, otáčky vřetene, nástrojová sonda atd.). Zatímco průmyslové PC je vybaveno sloty a zajišťuje komunikaci se všemi ostatními elektrickými částmi stroje, PLC je vybaveno vstupy a výstupy pro přímé připojení senzorů a kontroluje tak stav stroje. Spojením těchto dvou částí dohromady je zajištěno kvalitní řízení stroje.





## 8.2 Sonda RP3

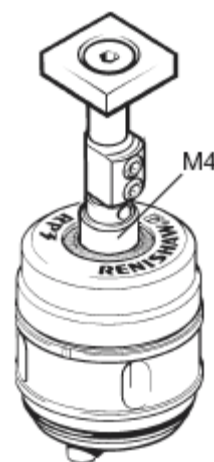
Tato sonda je určena přímo pro měřicí ramena HPPA, HPMA a HPRA. Rovněž ji lze instalovat na jiný typ ramene či měřicího zařízení, nevyvinutého společností Renishaw pomocí přídavného montážního přípravku. Komunikace je zajištěna jednoduchým přídavným elektrickým tištěným obvodem. V případě použití vlastní konstrukce ramene nemusí být použito komunikační rozhraní od společnosti Renishaw. Tělo sondy je vybaveno připojovacím závitem M4 pro dotkový hrot a LED indikací pro zobrazení stavu sondy (zelené světlo – sonda připravena, červené světlo – sonda sepnutá). Primární využití sondy je měření nástrojů, ale lze ji využít i pro měření obrobků. V Tab. 5. je přehled nejdůležitějších parametrů měřicího ramene HPMA a použité sondy.

Z tabulky lze vidět, že má sonda přesnost 1  $\mu\text{m}$  při rychlosti 480 mm/min. Lze tedy uvažovat, že tato přesnost, s použitím delšího hrotu a vyšší/nížší rychlosti, klesne. Celková hodnota přesnosti měřicího systému a sondy se tedy na závěr může lišit. Dalšími důležitými parametry jsou např. brzdná dráha nebo hodnota PT – pre-travel variation (přejezd pozice) viz. kapitola Chyby měření.

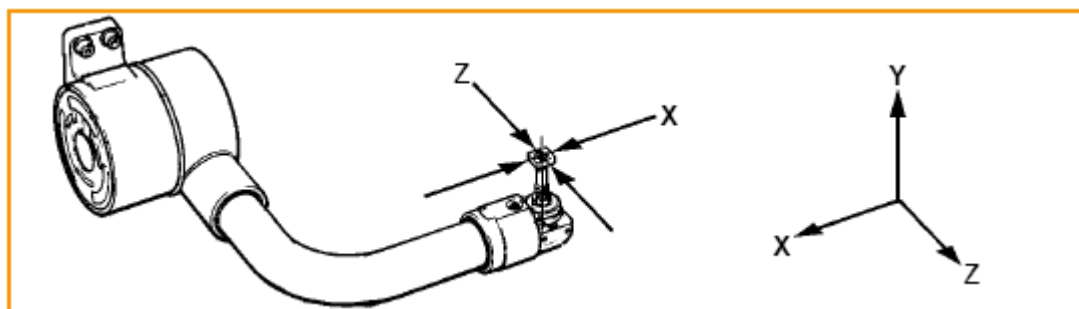
Celková přesnost je závislá na:

- opakované přesnosti stroje
- opakované přesnosti měřicího čidla
- rozlišovací schopnosti odměřovacího systému

Aplikace	nastavení nástrojů a detekce zlomení nástroje u CNC soustruhů	
Opakovatelnost (při rychlosti najíždění 36 mm/min)	velikost sklíčidla 6"-15"	5μm
	velikost sklíčidla 18"-24"	8μm
Stupeň krytí	IPX8	
Sonda RP3		
Způsob komunikace	kabelem	
Maximální spínací síla doteku	osa X/ osa Y	1,5 N - 3,5 N
	osa Z	12 N
Hodnoty maximálního vychýlení	osa X/ osa Y	9°
	osa Z	2 mm
Citlivost	Sepnutí možné v 5 směrech	
Jednosměrná opakovatelnost	1 μm (při použití 35 mm dotykového hrotu a rychlosti najíždění 480 mm/min)	
Pracovní teplota	5° - 60°C	
Skladovací teplota	-10° - 70°C	



Tab. 5 – Technické parametry měřicího ramena HPMA a použité sondy RP3, Sonda RP3[6]



Obr 13. – Orientace os u sondy RP3 [8]

### 8.2.1 CHYBY MĚŘENÍ

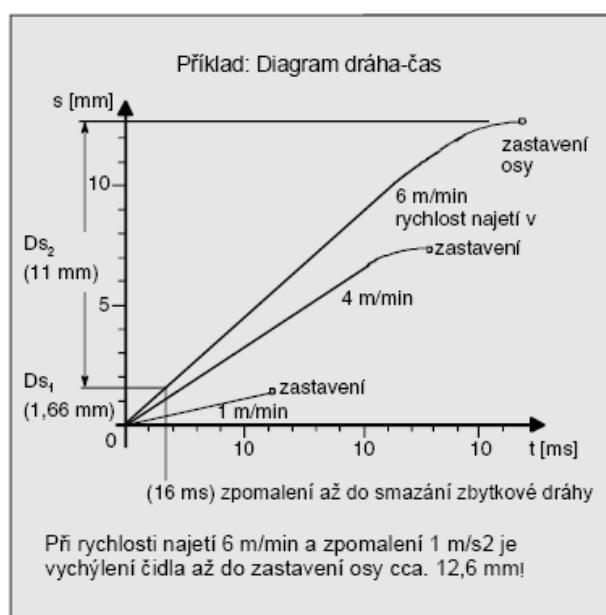
**PT (pre-travel variation)** – přejezd pozice není přímo formou chyby. Lze jej totiž odstranit kalibrací sondy. K této odchylce dochází vlivem nedostatečné tuhosti dotykového hrotu a dřívku. Při kontaktu sondy s materiálem dojde nejprve k malé elastické deformaci dřívku a až následně k vychýlení spínacího mechanismu sondy. Velikost této odchylky tudíž závisí na tuhosti dřívku a měřícího hrotu a rovněž na spínacím mechanismu sondy. Kinematické sondy mají horší vlastnosti a vyšší hodnotu PT oproti tenzometrickým, optoelektronickým či piezoelektrickým sondám. Snižováním PT se dosahuje vyšších přesností měřících systémů.

#### Brzdná dráha

Pro výpočet brzdné dráhy udává firma Siemens pro své řídicí systémy vzorec určený níže [11]. Je nutné zvolit optimální rychlost najíždění aby nedošlo ke zlomení dřívku dotykového hrotu. Na Obr. 14. je příklad určení brzdné dráhy pro rychlost najetí 6 m/min. Z grafu byla určena doba brždění a výsledné vychýlení hrotu vychází 12,6 mm. Při této rychlosti by jistě došlo k ulomení hrotu. Proto se v praxi používají rychlosti pod 1m/min a výrobce pro své sondy vždy udává doporučené rychlosti.

$$s_b = \underbrace{v \cdot t}_{Ds_1} + \underbrace{\frac{v^2}{2a}}_{Ds_2} + Ds$$

$s_b$	brzdná dráha	v m
$v$	rychlost najetí	v m/s
$a$	zábrazdné zpomalení	v $ms^{-2}$
$s$	vlečná chyba	v m



Obr 14. Příklad výpočtu brzdné dráhy [8]

### 8.3 Výměnné břitové destičky (VBD)

U dnešních strojů se již nepoužívají klasické soustružnické nože, ale nože, které slouží pouze jako nástavec držáku pro umístění vyměnitelného břitu. Mezi nejznámější materiály používané k výrobě těchto destiček jsou slinuté karbidy, polykrystalický kubický nitrid boru, nástrojová ocel apod. Tyto materiály vykazují vysokou tvrdost a pevnost při pracovních teplotách. Zpravidla je destička vybavena větším množstvím ostří. V případě otupení jednoho dojde k pootočení a pokračování obrábění.

#### Slinuté karbidy

Tvořeny různými karbidy (karbid wolframu, karbid titanu apod.) a kovovým pojivem (většinou kobalt). Pro dosažení ještě lepších mechanických vlastností jsou povlakovány. Jsou mnohem tvrdší než rychlořezné oceli a slitiny Co-Cr-W. Mají velmi dobré vlastnosti pro soustružnické operace a lze je použít pro všechny typy materiálů.

#### Polykrystalický kubický nitrid boru

Je to syntetický materiál s vysokou pevností za tepla, výbornou odolností proti opotřebení a velmi dobrou chemickou stabilitou. Používá se pro obrábění spíše tvrdých materiálů a má velkou životnost. Kvalita povrchu při obrábění kubickým nitridem boru je velmi kvalitní, proto často nahrazuje broušení. Odolnost materiálu vůči teplotnímu namáhání se blíží až 1500°C.

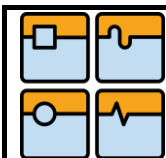
#### Nástrojová ocel

Z této skupiny jsou nejvýhodnější na výrobu VBD tzv. rychlořezné oceli, které jsou vysokolegovány. Mezi významné legující prvky patří např. wolfram, jehož obsah může být až 18%. Mají vysokou řezivost, dobrou pevnost v ohybu, vysokou tvrdost a odolnost proti popouštění. Odolávají teplotám až do 550°C.

Na Obr. 15 jsou zobrazeny možnosti použití různých břitových destiček pro vnější soustružení. Je vidět, že nůž může mít stejnou délku, ale podle pozice špičky se mění její poloha a vzdálenost v ose Z.



Obr. 15 Různé typy VBD [11]



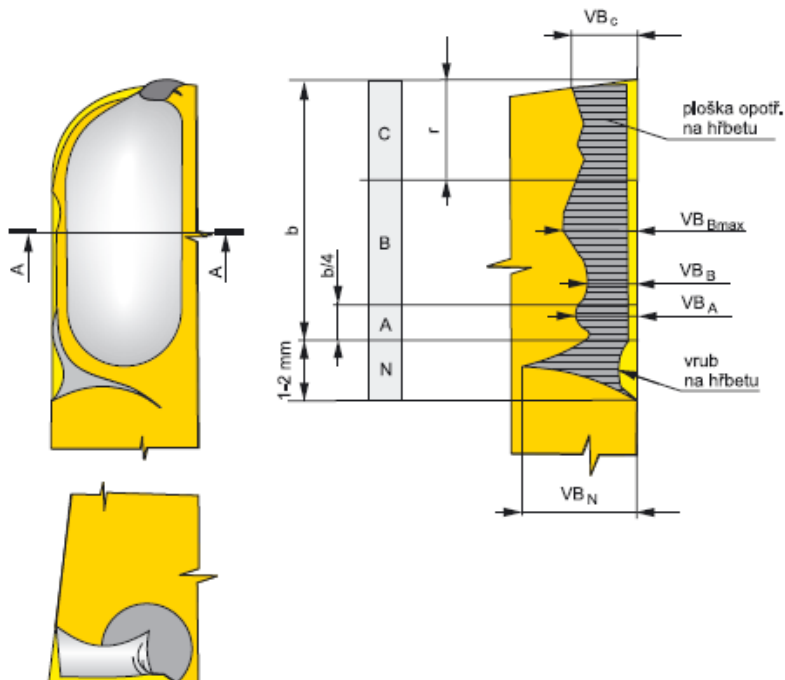
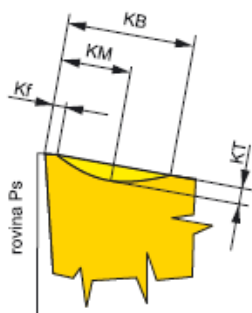
### 8.3.1 TYPY OPOTŘEBENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK

Břity rezného nástroje podléhají v průběhu obrábění různým druhům opotřebení. Toto opotřebení ovlivňuje postupně schopnost dosáhnout požadované jakosti obrobeného povrchu. Doba, po kterou je výměnná břitová destička (VBD) schopna dosahovat požadované jakosti obrobeného povrchu, je nazývána trvanlivostí břitu. Doba trvanlivosti může být také ovlivněna tím, jak VBD ztrácí schopnost kontrolovaného odvodu třísky nebo jejím vysokým poškozením, které může mít za následek náhlý lom destičky.

Na Obr. 16 jsou vidět typy opotřebení podle normy ISO 3685 spolu s označením jejich charakteristických rozměrů [10].

#### ŘEZ A-A

- Kf = vzdálenost okraje výmolu  
KB = šířka výmolu  
KM = vzdálenost středu výmolu  
KT = hloubka výmolu



Obr. 16 Charakteristické rozměry opotřebení VBD [10]

Obvykle se při obrábění vyskytuje více typů poruch, které se však neprojevují se stejnou intenzitou v průběhu doby obrábění. Jedna chyba je vždy dominantní a určuje tím pádem trvanlivost VBD. Proto je důležité se zaměřit na volbu rezných podmínek (otáčky, posuv, velikost třísky), materiál VBD nebo zvolenou geometrii destičky a jejich vliv na převládající poruchu za účelem jejího eliminování.

### 8.3.2 ZÁKLADNÍ MECHANISMY OPOTŘEBENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK

Z fyzikálního hlediska je opotřebení výsledkem společného působení mechanických a chemických vlivů, ke kterým dochází ve styčných plochách dvojice nástroj-obrobek. [10,14]

**Mechanické opotřebení** – k tomuto typu opotřebení dochází vlivem porušení povrchu a čela odcházející třískou a materiálem obrobku v ploše řezu. Nedochozí k chemické změně povrchových vrstev slinutého karbidu. Mechanické opotřebení je závislé na poměru použitého obráběného materiálu a materiálu VBD. [10]

Mezi mechanické typy opotřebení patří:

Abrazivní opotřebení – při abrazi je materiál odřezáván tvrdšími mikroskopickými částmi obráběného materiálu podobně jakou u broušení. Odolnost proti abrazi závisí na tvrdosti použitých materiálů VBD.

Adhezní opotřebení – při adhezi se na čele a hřbetu břitu vytvářejí nárůstky materiálu třísek. Tyto nárůstky jsou typem mikrosvárů. Takovýto nárůstek může tvořit základ pro další narůstání nebo kvůli němu může dojít k vydrolování či vylomení materiálu VBD.

**Chemické opotřebení** – v tomto případě dochází v místě styku ke změně chemického složení povrchové vrstvy VBD. To má za následek zhoršení mechanických vlastností a tím snížení odolnosti VBD proti opotřebení otěrem. Chemické opotřebení je závislé na teplotě styku a na vzájemném chemickém působení obou materiálů.

Mezi chemické typy opotřebení patří:

Difuzní opotřebení – toto opotřebení úzce souvisí s chemickým složením materiálu nástroje a materiálu obrobku. Při vyšších teplotách dochází k difuzi obou materiálů. Výsledná geometrie nástroje či chemické složení povrchové vrstvy obou materiálů se může ve výsledku lišit.

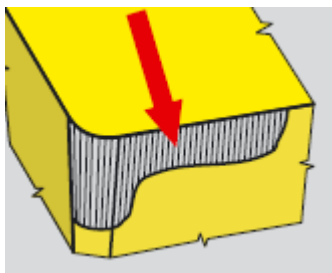
Oxidační opotřebení – tento typ opotřebení je naprosto běžný u všech kovů. Při obrábění vlivem vyšších teplot dochází k oxidaci ve větší míře a následné korozi materiálů.

#### **Lom statický či dynamický**

K lomu zpravidla dochází vlivem nepřiměřených řezných podmínek. Jsou špatně zvoleny pracovní otáčky, posuv nástroje nebo velikost třísky. V takovém případě dochází k tepelnému a mechanickému namáhání, které má za následek neustálé kolísání teploty a vznik plastických deformací.

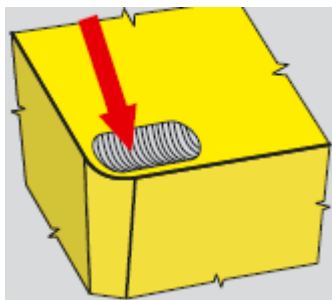


### 8.3.3 KLASIFIKACE TYPU OPOTŘEBENÍ



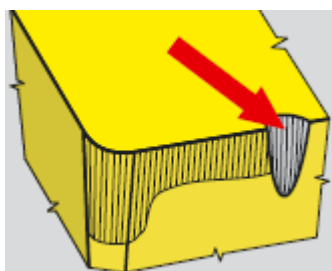
#### Opotřebení hřbetu bříty

Je jedním z hlavních kritérií charakterizující trvanlivost VBD [10]. Patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše bříty. Tento typ opotřebení je považován za běžný jev a stejnoměrné rovnoměrně se zvětšující opotřebení je považováno za ideální. Naopak příliš velké má za následek změnu geometrie bříty a vznik negativních vlivů na jakost obrobeného povrchu.



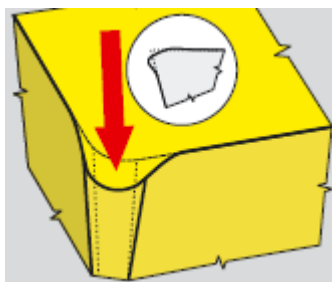
#### Výmol na čele

Charakteristický typ opotřebení vznikající na čelní straně bříty. Dochází k difuznímu poškození materiálu a může mít za následek změnu geometrie a tvaru utvářené třísky.



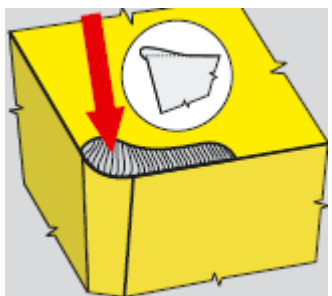
#### Vrub na hlavním břítu

Tento druh opotřebení má mechanické příčiny. Vzniká v oblasti styku bříty nástroje s povrchem obrobku. Je zapříčiněno převážně zpevněním povrchových vrstev obrobku a otřepy [10].



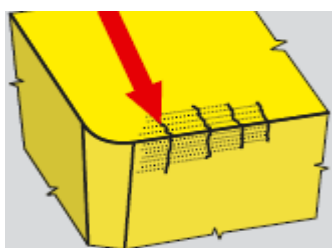
#### Plastická deformace špičky

Důsledkem vysokých řezných rychlostí a posuvů dochází k velkému zatížení špičky nástroje a tím k její plastické deformaci. Lze ji předcházet správnou volbou řezných podmínek a vhodnou volbou geometrie bříty.



#### Tvorba nárustku

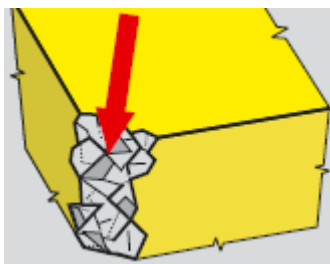
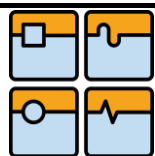
K této deformaci dochází na rozdíl od předchozích případů vlivem nízkých teplot a vysokých tlaků. Na čele bříty vznikají mikronávary obráběného materiálu, které se mohou později odlomit a tím porušit geometrii bříty. Rovněž ovlivňují kvalitu obrobeného povrchu a může díky nim dojít i k lomu špičky bříty.



#### Hřebenovité trhliny

Tento jev je důsledkem dynamického tepelného zatížení při přerušovaném řezu [10]. Dochází tak ke střídání vysokých a nízkých teplot vlivem obrábění a chlazení. Materiál mezi jednotlivými trhlínami se může vydrolovat a způsobit tak destrukci destičky.





#### Destrukce břitu (špičky nástroje)

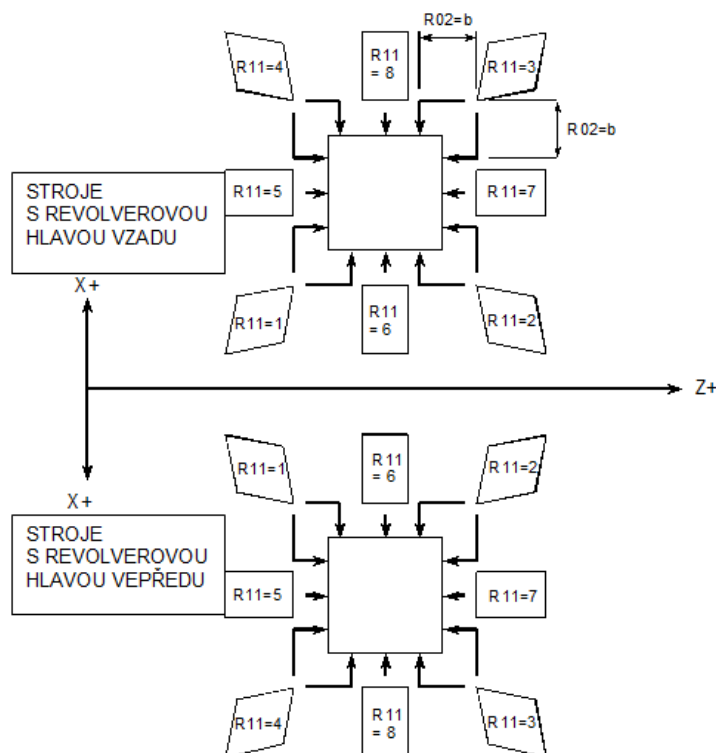
Špatnou volbou řezných podmínek, materiálu a geometrie VBD může dojít k úplnému zlomení břitu nástroje. Tím končí její životnost. Tomuto jevu je potřeba předcházet s maximální účinností správnou volbou parametrů obrábění a geometrie nástroje.

### 8.4 Možnosti použití

Systém Sinumerik 840D dovoluje měření nástroje v 16 polohách jak je zobrazeno na Obr. 17. Vždy záleží na použitém nástroji (nůž pro vnější či vnitřní obrábění, vrták).

Nejpoužívanější jsou pozice číslo  $R11 = 2, 3, 4, 5, 8$ . Programové moduly budou zaměřeny především na tyto typy destiček.

Před měřením systém vyžaduje zadání hodnot korekcí nástroje jako jsou délka v ose X, délka v ose Z, poloměr špičky nástroje, typ nástroje a polohu břitu. Při prvním měření jsou to hodnoty zjištěné přesným ručním měřením. Po proběhlém měření se skutečné korekce ukládají do vyhrazeného paměťového prostoru řídicího systému do tzv. GUD datových modulů.



Obr.17. Možnosti polohy ostří u soustružnických nožů [8]

Tyto soubory slouží k parametrizaci měřících cyklů. Podobně lze tuto operaci provést spuštěním cyklu CYCLE 103. Ten slouží právě pro ruční zadávání hodnot.

Úkolem této práce je navrhnout algoritmus, který by byl schopný měření nástroje bez zadání všech potřebných parametrů. Princip bude uplatněn na soustružnické nože a vrtáky při jejich prvním měření. Základními kritérii, branými v potaz, jsou přibližná délka nástroje, jeho typ a katalogová hodnota poloměru zaoblení špičky. Dalším kritériem pro použití je geometrie břitové destičky. Žádná z hran nesmí být rovnoběžná s hranou nástrojové sondy. Pokud by tomu tak bylo, nebylo by zajištěno správné měření. Stroj by mohl naměřit správnou hodnotu rozměrů nástroje i v případě poškození nástroje např. zlomení špičky.

#### 8.4.1 DETEKCE TYPŮ POŠKOZENÍ

Dotykovou sondou není možné změřit všechny typy poškození. Nejzákladnějším typem poškození, který je sonda schopna rozpoznat je zlomení bříty nástroje. Detekce ostatních druhů defektů je složitější a většinou se nepoužívá.

- Opotřebením hřbetu bříty – charakteristické opotřebením jednoduše zjistitelné. Měření opotřebením nástroje se provádí pomocí sestavených cyklů. Míra opotřebením je závislá na volbě řezných podmínek.
- Výmol na čele – tento defekt není možné dotykovou sondou zjistit
- Vrub na hlavním bříty – tento defekt je relativně možné změřit volbou správné metodiky.
- Plastická deformace špičky – možné změřit. Dochází k deformaci špičky a ke kompletní změně tvaru a rozměrů. Detekce jednoduchým porovnáním rozměrů nástroje, které se abnormálně liší od výsledků předchozího měření. (pokud nebyl nástroj vyjmut a vložen z pracovní hlavy).
- Tvorba nárůstku - Obdobné jako předchozí případ. Při této poruše se zvětšuje objem materiálu v oblasti špičky a opět dochází k příliš velké změně jejich rozměrů.
- Hřebenovité trhliny – tento typ poškození není možné dotykovou sondou změřit.
- Destrukce bříty – porucha, ke které dojde volbou nepřiměřených řezných podmínek. Při měření je úbytek délky mnohem větší než při běžném opotřebením.

#### 8.4.2 MOŽNÉ CHYBY MĚŘENÍ ZPŮSOBENÉ OBSLUHOU

Při měření může dojít k chybám různého charakteru v závislosti na mnoha faktorech. Chyby dělíme na systematické a náhodné. Většinu systematických chyb (chyba měřicího systému, chyby způsobené vlivem prostředí, silou měření nebo gravitace apod.) lze určit, zjistit jejich vliv na měření a učinit potřebná opatření. V případě měření nástrojů nesou velký podíl chyby, způsobené obsluhou.

Špatné zadání délky – s touto možností je již počítáno při tvorbě základních cyklů od výrobce. V případě najetí na sondu, vlivem nepřesných parametrů nástroje, je sonda dostatečně citlivá a díky vyslanému signálu dojde k okamžitému vypnutí pohonů. Samozřejmě záleží na parametrech stroje, zda je při zvolené velikosti posuvu schopen zabrzdit dřív než dojde k ulomení hrotu sondy. Proto jsou při měření používány nízké posuvové rychlosti. Rovněž jsou voleny větší vzdálenosti nájezdu, pro případ že by zadaná délka byla naopak větší.

Program by měl být rovněž vybaven vizuální kontrolou. Před měřením se, na obrazovce ovládacího panelu, zobrazí hlášení o zvoleném nástroji a dané geometrii, které bude požadovat kontrolu všech parametrů.

Volba nástroje – samotný program provádí kontrolu typu nástroje. Porovná parametr aktuálního nástroje a v případě že se jedná o jiný, než soustružnický nůž, spustí sekvenci pro tento typ nástroje. V tomto případě hrozí minimální chyba obsluhy.





## 9. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Největší ekonomický přínos používání nástrojových sond je odstranění nepřesností vzniklých při měření nástrojů ručně a při následném zadávání těchto hodnot do systému. Při použití nástrojové sondy je sice nutné zadat ručně korekce, které jsou však, po uskutečněním měření, přepsány hodnotami přesnými, naměřenými NC strojem. Díky přesným rozměrům nástroje je možné dosáhnout vysoké pracovní přesnosti a velmi dobrých kvalit obrobených povrchů. Dále pak snížení zmetkovitosti a zisk aktivní kontroly nástrojů v případě jejich poškození. Dalším velmi důležitým přínosem je snížení vedlejších časů stroje. Každá minuta kdy stroj neobrábí znamená ztrátu. Použití nástrojových sond u obráběcích strojů významně snižuje prostoje stroje.

Při ustavování nástrojů pomocí sond se za jednu směnu ušetří přibližně 5 až 20 minut. To záleží na typu výroby. Náklady na jednu hodinu práce stroje dosahují v průměru 1200 Kč. Zisk, získaný za jednu hodinu práce stroje se pohybuje kolem 250 Kč a náklady na pořízení sondy jsou cca. 160 000 Kč. Z těchto hodnot lze vypočítat přibližnou návratnost stroje [14].

### Návratnost při jednosměnném provozu [14]

$$I_m = \frac{N_i}{(N_h + Z_h) * t_u * n_h * n_s}$$

$$I_m = \frac{160000}{(1200 + 250) * 0,2 * 8 * 20}$$

$$I_m = 3,45$$

### Návratnost při dvousměnném provozu [14]

$$I_m = \frac{N_i}{(N_h + Z_h) * t_u * n_h * n_s}$$

$$I_m = \frac{160000}{(1200 + 250) * 0,2 * 8 * 40}$$

$$I_m = 1,72$$

$t_u$  – uspořádaný čas (min)

$N_h$  – náklady na hodinu práce stroje (Kč)

$Z_h$  – zisk z jedné hodiny práce stroje (Kč)


$n_h$  – počet hodin za směnu

$n_s$  – počet hodin za měsíc

$N_i$  – náklady na investici (Kč)

$I_m$  – návratnost investice v měsících

Výsledná návratnost je v měsících a je tudíž velmi krátká. Volba pořízení nástrojové sondy se jeví jako velmi výhodná a navíc levná investice. Proto se automatická kontrola nástrojů začíná stávat základním vybavením všech moderních CNC strojů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Co se týče zkrácení časů měření, výrobce sondy uvádí zkrácení časů až o 90%. Vždy záleží na dané situaci a možnostech stroje. Rovněž na zkušenostech obsluhy a použitých měřících cyklech. Vzhledem k tomu že nemohla být provedena praktická kontrola programových modulů, není možné určit čas měření jednotlivých nástrojů a následně provést porovnání s časy ručního přeměření popř. s časy jiných měřících cyklů.

## **10. PROGRAMOVÉ MODULY SEMIAUTOMATICKÉ DETEKCE NÁSTROJŮ**

Základní myšlenkou, pro vytvoření programových modulů pro semiautomatickou kontrolu nástroje pomocí dotykové sondy pro soustružnické OC, bylo uvažováno komplexní použití nevyžadující před měřením pracné a časově náročné přeměření nástrojů v pracovní hlavě. To zpravidla probíhá mimo stroj a celá nástrojová hlava je vyjmuta ze stroje, přeměřena např. v metrologickém pracovišti firmy a opět vrácena do pracovního prostoru. Tyto operace jsou pracné a časově velmi náročné.

Takto sestavené měřící cykly by bylo možno použít i pro menší stroje u menších firem, které např. nemají měřící pracoviště a nedosahují takových přesností a kvality výroby jako větší firmy. Pro jejich funkci by stačili pouze přibližné rozměry nástrojů zadane do příslušných GUD souborů. Tyto hodnoty by byly známé z katalogů výrobců.

Není důležité znát všechny rozměry nástroje pokud je známá jeho geometrie. V případě soustružnických nožů se hledá především poloha špičky. Tím se zjišťují, jak rozměry nástroje tak i jeho případné poškození. Při prvním použití jsou rozměry a tvarové charakteristiky VBD dány výrobcem. Problém nastává v jejich uložení do pracovní hlavy. Dochází tak ke vzniku nevymezených vůlí, které mohou ovlivňovat polohu břitu nástroje. Je nutné znát přesnou referenční polohu prac.hlavy a snímací sondy. Řídící systém vypočítá rozměry nástroje podle změřených souřadnic.

### **10.1 Algoritmus detekce nástrojů**

Při tvorbě algoritmu, jak již bylo řečeno, bylo uvažováno o tom, že nebudou známy všechny parametry nástroje. Alespoň některé je potřeba znát, jelikož bez zadání přibližných rozměrů by měl stroj velké problémy s nalezením špičky nástroje. Nezbyvalo by mu nic jiného než se donekonečna přibližovat fiktivní špičkou na pozici sondy. V tomto případě by bylo měření příliš zdlouhavé a bylo by jednodušší ruční najetí nástroje na sondu pomocí obsluhy s použitím běžných cyklů.

Byla stanovena následující možnost. Referenční poloha pracovní hlavy a poloha sondy je nám známá. Rovněž je nám částečně známá geometrie nástroje (uvažujeme soustružnické nože vnější a vnitřní a vrtáky). U těchto nástrojů by měla být obsluha schopna změřit jeden základní rozměr a to v tomto případě délku nástroje s přesností  $\pm 10$  mm (popř. tuto hodnotu odečíst z katalogu výrobce). Přesnost této vzdálenosti v našem případě nehraje až tak velkou roli, ale samozřejmě musí být brána v úvahu. V případě zadání špatné délky by mohlo dojít ke kolizi a ke zničení nástroje. Tuto délku je nutné definovat a uložit do proměnných.

Některé VBD mají rovněž daný poloměr zaoblení špičky. U nové destičky je hodnota známá z katalogů výrobce a volí se také podle daných řezných podmínek. U opotřebených už je přesné zjištění těchto hodnot složitější. Opotřebení destičky a tedy i změna poloměru zaoblení se dá měřit se známými délkami nástroje. Vytvořené programové moduly by měli sloužit pro měření nástrojů s novou VBD, přičemž se dají využít i pro následné měření opotřebení.

## **10.2 Princip měření**

### **10.2.1 STARÁ KONCEPCE MĚŘENÍ**

Měření dle staré koncepce probíhá tak, že obsluha najede pracovním nástrojem do těsné blízkosti sondy a spustí měřicí cyklus. Data aktuálního nástroje jsou načteny z paměti stroje a nástroj je díky hodnotám korekcí v automatickém cyklu přeměřen.

### **10.2.2 NOVÁ KONCEPCE MĚŘENÍ**

Nová koncepce by měla zajišťovat přeměření nástroje bez ručního najíždění na pozici sondy. Obsluha pouze zadá do systému všechny parametry nástrojů a stroj se již o zbytek měření postará. Cykly jsou vybaveny instrukcemi pro každou polohu bříty. Rozeznávají, zda se jedná o vnější či vnitřní nůž, a jsou vybaveny kontrolou polohy špičky vůči sondě. Cykly jsou opět semiautomatické, jelikož je nutné zadat přibližné rozměry nástrojů.

Při známé délce nástroje, v ose X nebo v ose Z (vrták a vnitřní nůž osa Z, vnější nůž osa X), je možné změřit i druhou korekci nástroje. Jelikož je ve stroji umístěna revolverová hlava s nástroji s VBD, přibližné rozměry jsou známy z katalogových listů jednotlivých nástrojů.

Pro příklad bude uveden případ měření vnějšího soustružnického nože. U tohoto nástroje je známá přibližná délka v ose X a vzdálenost v ose Z. Neznámým rozměrem je velikost břitové destičky, přesahující přes držák. Tyto hodnoty jsou vloženy do proměnné určené pro vzdálenost v ose X (\$TC\_DP3) a Z (\$TC\_DP4). Tím je vytvořena zatím nepřesná poloha špičky nástroje. Nyní je fiktivní špičkou najížděno na stejnou pozici v ose X, jakou zaujímá vyklopená měřicí sonda. Najíždí se na střed sondy. Poté, posuvem v záporném směru osy Z, je nástrojem pohybováno na stanovenou polohu sondy. Buď dojde k dosažení stanovené pozice nebo dojde k sepnutí sondy. Pokud dojde k sepnutí, je vyslán signál k okamžitému zastavení posuvu. Pokud ovšem k sepnutí nedojde, znamená to že hodnota délky nástroje zadaná do systému, je příliš malá. V tomto případě se nástroj vrací do referenční pozice špičky nástroje a v ose X dochází k prodloužení nástroje. Měření se opakuje dokud nástroj nenarazí na sondu.

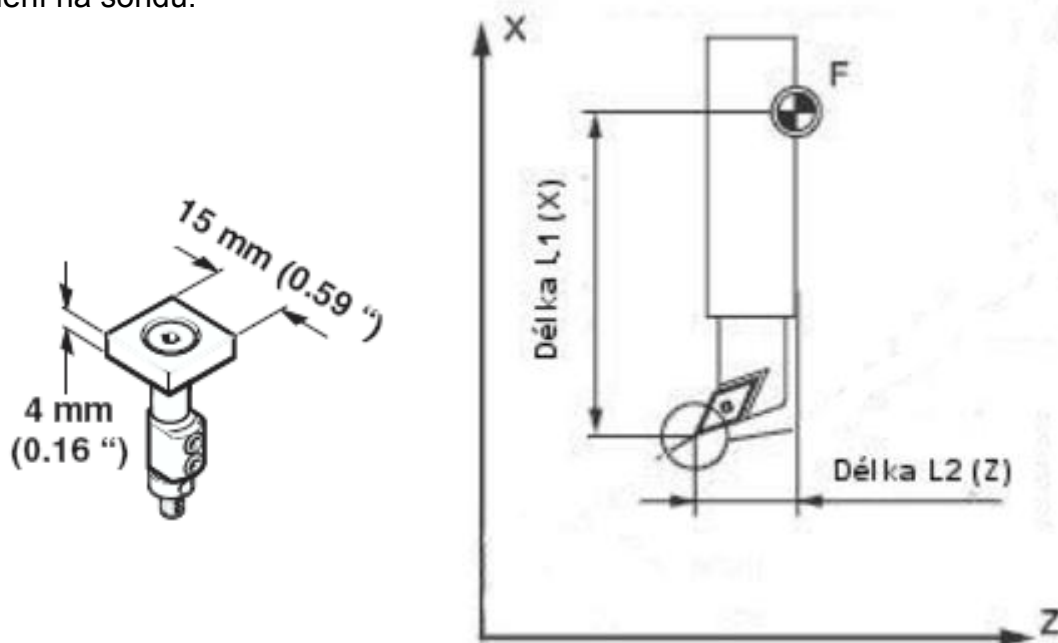
Může ale také dojít k tomu, že byla zadána velká délka nástroje a dotyk se sondou nastal v jiném místě než ve špičce.

Proto je nutné ověřit polohu špičky nástroje vůči sondě. Hodnota v ose Z je uložena do proměnné \$TC\_DP4 (proměnná pro délku v ose Z). Nástrojem je pohybováno zpět v kladném směru osy Z o pouhý jeden milimetr, aby došlo k rozepnutí sondy a následuje kontrola pozice špičky. Je sepnut posuv v kladném směru osy X, nastaven na konstantní vzdálenost, nebo čekající na sepnutí sondy. V případě že dojde k sepnutí sondy, znamená to že špička sondy se nachází pod

sondou a že zadaná hodnota délky L2 je špatná. Proto dochází opět k vyjetí do bezpečné vzdálenosti od sondy, odečtení vzdálenosti 5 mm z délky nástroje a opětovné přeměření. Hodnota 5 mm je dostatečná v obou případech špatného zadání délky. Samotná sonda má tvar kvádr s rozměry 15 x 15 x 4 mm a nehrozí tudíž situace, že by nástroj byl příliš krátký (k dotyku by nedošlo) a po následné úpravě jeho rozměrů by byl naopak dlouhý (špička by se nacházela až za sondou).

Pokud ovšem k sepnutí sondy nedojde, znamená to že hodnota v parametru \$TC\_DP4 je již změřená délka L2 ve směru osy Z. A jelikož již bude jedna délka přesně známá, nečiní žádný problém změřit druhou. Nástroj najede špičkou 8 mm nad sondu přesně do polohy odpovídající středu sondy a v záporném směru osy X bude změřena jeho přesná délka. Uložení do proměnné \$TC\_DP3. Pro tento postup je na Obr 19. zobrazen algoritmus kontroly hrubovacího nože s pozicí špičky R11=3 (Na Obr. 18. zobrazen měřicí talíř s charakteristickými rozměry a soustružnický nůž s měřenými rozměry).

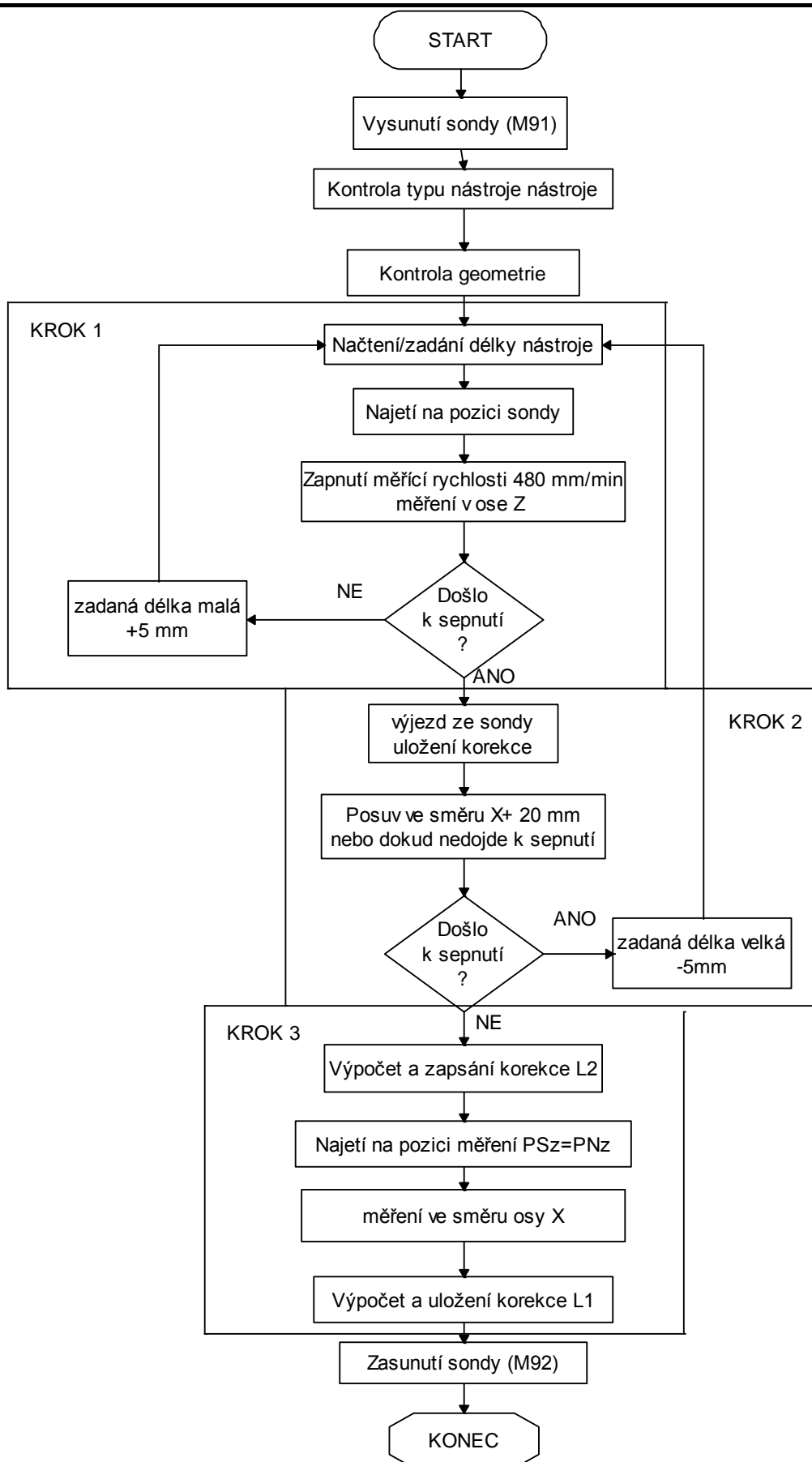
Podobný postup platí pro vrtáky a nože pro vnitřní soustružení a pro všechny polohy špičky nástroje. Podprogramy se budou lišit pouze pozicemi a směry najíždění na sondu.



Obr.18 Měřicí talíř sondy a soustružnický nůž a zobrazené délky L1 a L2 [2, 8]



# DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 19. Algoritmus zjištění přesných rozměrů pro hrubovací nůž

### 10.3 Tvorba programových modulů

Tvorba programových modulů probíhala v programu Sinutrain v 6.3 Ed, který nahrazuje řídicí systém Sinumerik 802D, 810D, 840D a 840Di. Nabídka simulace je široká, nabízí především souhrn programování z oblastí soustružení a frézování. Tato verze rovněž umožňuje programování v ISO kódu (používání G a M funkcí). Novější systémy se programují na bázi sestavení programu s předem definovaných cyklů. V tomto případě byla zvolena možnost *Turning machine with simple tools* (soustruh s jednoduchými nástroji).

Pracovní prostředí programu představuje vizualizaci ovládacího panelu stroje. Ovládání je řešeno pomocí postraních tlačítek ve spodní a pravé části programu. Pomocí tlačítka *Menu select*, umístěného v pravé dolní části obrazovky, je zobrazena hlavní nabídka programu s položkami *Stroj*, *Parametry*, *Program*, *Udržba*, *Diagnostika*, *Nastartovat* a *Automatický chod*.

Pomocí těchto voleb je možné ovládat celý stroj. V našem případě byl použit příkaz *Program*. Volba této možnosti umožňuje přístup do adresáře programů. Následná volba možnosti *New* v pravém panelu nástrojů umožňuje tvorbu nové složky, programu, podprogramu apod.

Vytvořením programu či podprogramu je automaticky zobrazeno programovací rozhraní, které je vedeno jako klasický textový editor. V dolní liště nástrojů je možnost pro volbu ruční úpravy programu nebo volby frézování, soustružení či vrtání. Dále pak funkce pro měření frézek a soustružnických nožů (pro automatickou kontrolu nástrojů při soustružení je nadefinován cyklus CYCLE 982). Po jednotlivé volbě jsou v pravé liště nástrojů zobrazeny možnosti předdefinovaných obráběcích cyklů pro zvolenou aplikaci. Rovněž je možné spravovat informace týkající se nástrojů. Je možno je editovat a vytvářet nové. Informace o aktuálním nástroji jsou ukládány do proměnných v paměťovém prostoru stroje.

Parameter	840D__Turn	Auto	\CST.DIR CYCLE103.SPF		
Channel reset		Program aborted			
		ROV SBL1		T no. +	
				T no. -	
				D no. +	
				D no. -	
				Delete...	
				Go to...	
				Overview ...	
				New...	
				Determine offset	

Tool offsets					
T number	2	D number	1	No. of c.edges	1
Tool type	500	Roughing tool			
C. edge pos.	3				
Length comp.		Geometry	Wear	Base	
Length 1	:	85.000	0.000	0.000	mm
Length 2	:	0.000	0.000	0.000	mm
Radius comp.					
Radius	:	0.800	0.000		mm
Technology					
Clear.angle	:	60.000	deg.		
DP25	res:	0.000			

Tool compens.	R variables	Setting data	Work offset	User data	Active WD + compens.
---------------	-------------	--------------	-------------	-----------	----------------------

Obr 20 Prostředí nastavování parametrů nástrojů v programu Sinutrain

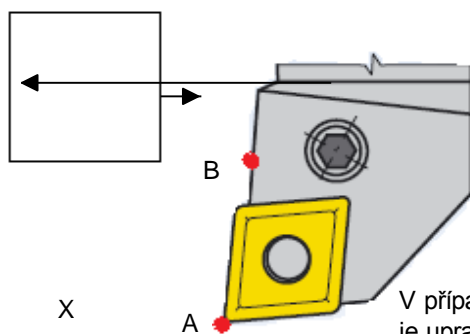
Na Obr. 20. je zobrazeno pracovní rozhraní pro vytváření nových nástrojů a pro nastavování hodnot korekcí jednotlivých nástrojů. Každý nástroj může mít až 25 parametrů. Na obrázku jsou zobrazeny hodnoty pro hrubovací nůž. Pod položkou C. *edge pos.* se nachází hodnota polohy bříty. Maximální počet nástrojů (číslo T) je 32 000 a číslo D = 1-9. Rozměry a data týkající se pracovního nástroje jsou ukládány do následujících proměnných:

- |          |  |
|----------|--|
| \$TC_DP1 | - typ nástroje (500 – hrubovací, 510 – dokončovací, 520 – zapichovací, 530 – upichovací, 540 - závitový) |
| \$TC_DP2 | - poloha bříty (1-8)   |
| \$TC_DP3 | - délka v ose X  |
| \$TC_DP4 | - délka v ose Z  |
| \$TC_DP6 | - poloměr zaoblení špičky nebo průměr vrtáku/frézy   |

### 10.4 Schéma měření

#### KROK 1

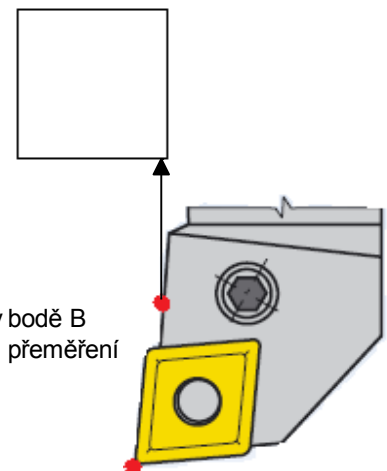
- najetí na sondu ve směru kratší délky
- v případě doteku KROK2
- jinak prodloužení délky nástroje



V případě že dojde k sepnutí např. v bodě B je upravena délka nástroje a dojde k přeměření

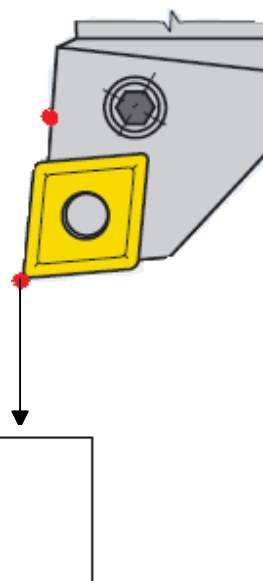
#### KROK 2 - Kontrola špičky

- zkoumá se zda nedošlo k dotyku v jiné části nástroje
- pokud ne, pokračuje se k měření v druhém směru



#### KROK 3

- měření délky nástroje
- již je známe odsazení nástroje tím je zaručená poloha špičky

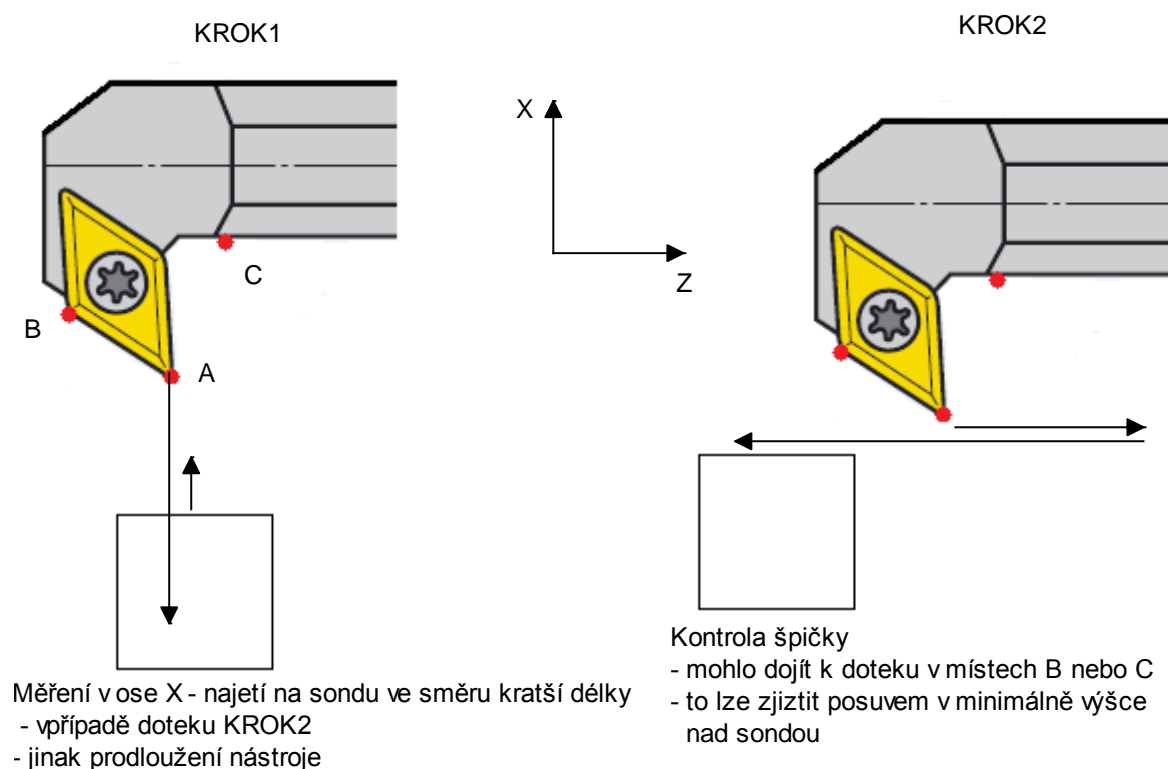


Obr. 21. Schéma měření vnějšího nože s polohou bříty č.3



Na Obr. 21. je zjednodušené schéma měření nože pro vnější soustružení s polohou břitu č. 3. V KROKU 1 se stroj snaží najít dle zadaných parametrů špičku nástroje, najížděním na sondu v ose Z. Vzdálenost k ose je zadána 2x delší, aby zaručeně došlo k dotyku. V případě že k dotyku nedojde, parametr délky nástroje se zvětší o 5 mm a dochází k opětovnému přeměření.

Pokud dojde k doteku se sondou, kontroluje se poloha špičky, zda náhodou nedošlo k sepnutí v jiném místě. Nástroj odjede půl milimetru od sondy a zjišťuje zda nedojde k doteku v ose X. Pokud ne, je změřená délka v ose Z správná a přechází se ke KROKU 3, v kterém se přeměří druhá korekce.



Obr. 22. Kontrola špičky u vnitřního soustružnického nože s polohou špičky č.4

Na Obr. 22 je vidět schéma měření s kontrolou špičky nože pro vnitřní obrábění. Nejdříve je měřena opět kratší délka (v tomto případě L2) a jakmile dojde k doteku, dochází ke kontrole. Změřenou špičkou se projíždí v těsné blízkosti sondy a kontroluje se zda nedojde ke kolizi s bokem nože.



### 10.5 NC Kód měření

Programování probíhalo ručně v ISO kódu. Pro několik vybraných pozic byly vytvořeny programové bloky. Hlavním hlediskem byla geometrie nástroje. Program byl vytvořen pomocí M a G kódů podle předchozího vývojového diagramu. Některé cykly jsou vybaveny možností kontroly správné pozice špičky s následným opětovným přeměřením a jiné jsou naopak navrženy jako klasické měřicí cykly. Rychlost najíždění byla zvolena dle výrobce 480 mm/min. Této rychlosti odpovídá brzdná dráha menší než 1 mm. Tím je zaručená bezpečnost sondy.

Řídící program čte nástrojová data ze souborů GUD5 a GUD6. Pokud není sestaven hlavní program speciálně pro dané nástroje, měřicí cyklus automaticky pracuje s aktuálně používaným nástrojem. V průběhu programu dochází k přiřazování skutečných hodnot do systémových proměnných tzv. R parametrů.

R1 = \$TC\_DP1[T,D] - číslo T nástroje v zásobníku

R2 = \$TC\_DP2[T,D] - průměrová korekce

R3 = \$TC\_DP3[T,D] - typ nástroje (200-vrták, 500-soustružnický nůž)

R4 = \$TC\_DP4[T,D] - poloha bříty

R5 = \$TC\_DP6[T,D] - poloměr špičky, průměr vrtáku/frézy

R92 = 266,099 - konstanta pro střed sondy v ose Z

R93 = 43,552 - konstanta pro střed sondy v ose X

G18 - definice pracovní roviny X/Z

Všeobecné předpoklady pro spuštění měřících cyklů:

- před vyvoláním cyklu je nutno aktivovat průměrovou korekci, která obsahuje data nástroje
- funkce G aktivní před vyvoláním cyklu zůstávají aktivní, nezávisle na tom jestli byly v průběhu cyklu změněny-
- aktuální rovina je definována před vyvoláním měření příkazy G17, G18 a G19
- měřicí sonda musí být skalibrovaná
- měřený nástroj musí být vyvolán s korekcí délky nástroje

## PROGRAM MERENI

```
DIAMOF ; vypnutí poloměrového programování
R3 = $TC_DP1[R1,R2] ; přiřazení typu nástroje do příslušné položky
IF (R3>=200) GOTO SKOK1
    R3 = 100
TC_DP1[R1,R2] = R3
GOTO KON1
```

```
SKOK1:
IF (R3 >= 300) GOTO SKOK2
R3 = 200
$TC_DP1[R1,R2] = R3
GOTO KON1
```

SKOK2

```
R4 = $TC_DP2[R1,R2]
IF (R3<500) OR (R3>540) GOTO KON1
IF (R4 = 1) GOTO TYP1
IF (R4 = 2) GOTO TYP2
IF (R4 = 3) GOTO TYP3 ; výběr bloku pro danou polohu bříty
IF (R4 = 4) GOTO TYP4
IF (R4 = 5) GOTO TYP5
IF (R4 = 6) GOTO TYP6
IF (R4 = 7) GOTO TYP7
IF (R4 = 8) GOTO TYP8
```

(V případě nesplnění podmínky program pokračuje následující instrukcí)

### TYP3 – vnější i vnitřní obrábění

```
R1=$TC_DP1[R1,R2] ; parametrizace měření
R2=$TC_DP2[R1,R2]
R3=$TC_DP3[R1,R2]
R4=$TC_DP4[R1,R2]
R5=$TC_DP6[R1,R2]
```

```
IF R4>R3 GOTO VNITRNI3 ; kontrola typu nástroje
```

```
MERZ3 ; měření vnějšího nástroje
```

```
$TC_DP2[R1,R2] = R2
$TC_DP3[R1,R2] = R3
$TC_DP6[R1,R2] = R5
G0 G1 G53 G90 X43,55 Z300
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z-40 F480 ; měření s dotykovou sondou
STOPRE ; stop načítání bloků
IF $AC_MEA[XX] = 1 GOTO KONTR1 ; kontrola sepnutí sondy
```



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

R3 = R3 + 5  
GOTOF MERZ3

; prodloužení nástroje

DLOUHY31:  
R3 = R3 – 5  
GOTOB MERZ3

; zkrácení nástroje

KONTR31:  
G0 G53 G91 Z2  
R90 = \$AA\_MW[Z]  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X20 F480  
STOPRE  
IF \$AC\_MEA[XX] = 1 GOTOB DLOUHY31  
G0 G53 G91 Z-7,7  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-30 F480  
STOPRE  
G0 G53 G91 X2  
R91 = \$AA\_MW[X]  
GOTOF PREMIER3

; kontrola pozice špičky  
; výjezd ze sondy  
; uložení pozice sepnutí v ose Z

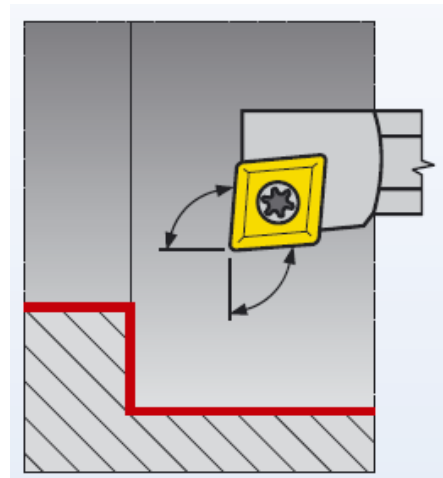
VNITRNI3:

MERX3:

\$TC\_DP2[R1,R2] = R2  
\$TC\_DP4[R1,R2] = R4  
\$TC\_DP6[R1,R2] = R5  
G0 G1 G53 G90 X70 Z264  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-30 F480  
STOPRE  
IF \$AC\_MEA[XX] = 1 GOTOF KONTR32  
R4 = R4 + 5  
GOTOB MERX3

DLOUHY32:  
R4 = R4 – 5  
GOTOB MERX

KONTR32:  
G0 G53 G91 X2  
R91 = \$AA\_MW[X]  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z20 F480  
STOPRE  
IF \$AC\_MW[XX] = 1 GOTOB DLOUHY32  
G0 G53 G91 X-10  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z-25 F480  
STOPRE  
G0 G53 G91 Z2  
R91 = \$AA\_MW[X]



**GOTOF PREMIER3****PREMER3:**

R90 = R90 - R92 - 7,7 ; výpočet a uložení korekce před přeměřením

R91 = R91 - R93 - 7,7

\$TC\_DP3[R1,R2] = R91

\$TC\_DP4[R1,R2] = R90

G0 G53 G90 X43 Z280

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z-10 F480 ; přeměření s hodnotami z hrubého

STOPRE ; měření

G0 G53 G91 Z2

R90 = \$AA\_MW[Z]

G0 G53 G91 X10

G0 G53 G91 Z-10

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-10 F480

STOPRE

G0 G53 G91 X2

R91 = \$AA\_MW[X]

R90 = R90 - R92 - 7,7 ; výsledný výpočet rozměrů nástroje

R91 = R91 - R93 - 7,7

\$TC\_DP3[R1,R2] = R91

\$TC\_DP4[R1,R2] = R90

G0 G53 Z = IC(30) ; odjezd od sondy na polohu pro otočení hlavy

GO G53 X = IC(50) Z = IC(100)

GOTOF END ; skok na konec programu

**TYP4**

R1=\$TC\_DP1[R1,R2]

R2=\$TC\_DP2[R1,R2]

R3=\$TC\_DP3[R1,R2]

R4=\$TC\_DP4[R1,R2]

R5=\$TC\_DP6[R1,R2]

IF R4>R3 GOTOF VNITRNI

**MERZ4:**

\$TC\_DP2[R1,R2] = R2

\$TC\_DP3[R1,R2] = R3

\$TC\_DP6[R1,R2] = R5

G0 G1 G53 G90 X43 Z240

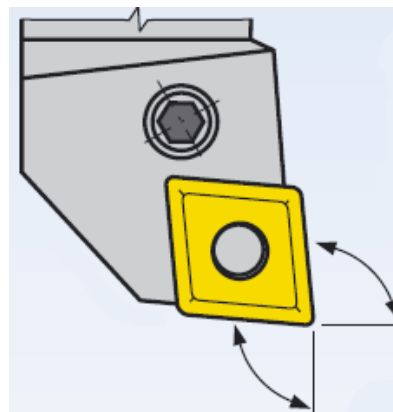
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z20 F480

STOPRE

IF \$AC\_MEA[XX] = 1 GOTOF KONTR41

R3 = R3 + 5

GOTOF MERZ4





## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DLOUHY41:

R3 = R3 - 5

GOTOB MERZ4

KONTR41:

G0 G53 G91 Z-2

R90 = \$AA\_MW[Z]

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X20 F480

STOPRE

IF \$AC\_MEA[XX] = 1 GOTOB DLOUHY41

G0 G53 G91 Z10

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-25 F480

STOPRE

G0 G53 G91 X5

R91 = \$AA\_MW[X]

GOTOF PREMIER4

VNITRNI4:

MERX4:

\$TC\_DP2[R1,R2] = R2

\$TC\_DP4[R1,R2] = R4

\$TC\_DP6[R1,R2] = R5

G0 G1 G53 G90 X60 Z264

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-40 F480

STOPRE

IF \$AC\_MEA[XX] = 1 GOTOF KONTR42

KRATKY4

R4 = R4 + 5

GOTOF MERX4

DLOUHY42:

R4 = R4 - 5

GOTOB MERX4

KONTR42:

G0 G53 G91 X1,5

R91 = \$AA\_MW[X]

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z20 F480

STOPRE"

IF \$AC\_MW[XX] = 1 GOTOB DLOUHY42

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z-40 F480

STOPRE"

IF \$AC\_MW[XX] = 1 GOTOB KRATKY4

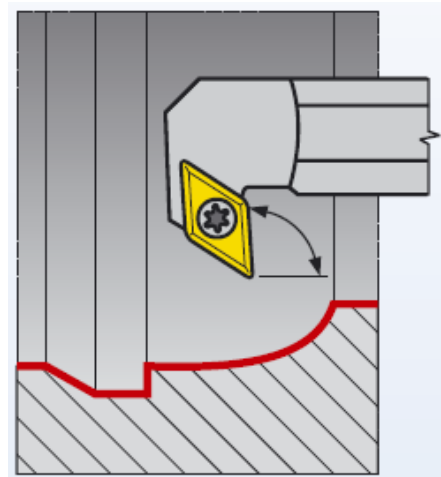
G1 G53 G90 X-2

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z20 F480

STOPRE

G0 G53 G91 Z-10

R91 = \$AA\_MW[X]





## DIPLOMOVÁ PRÁCE

## PREMER4

## PREMER4:

```
R90 = R90 - R92 - 7,7  
R91 = R91 - R93 + 7,7  
$TC_DP3[R1,R2] = R91  
$TC_DP4[R1,R2] = R90  
G0 G53 G90 X43 Z254  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z10 F480  
STOPRE  
G0 G53 G91 Z-5  
R90 = $AA_MW[Z]  
G0 G53 G91 X10  
G0 G53 G91 Z10  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-10 F480  
STOPRE  
G0 G53 G91 X5  
R91 = $AA_MW[X]  
R90 = R90 - R92 - 7,7  
R91 = R91 - R93 + 7,7  
$TC_DP3[R1,R2] = R91  
$TC_DP4[R1,R2] = R90  
G0 G53 Z = IC(30)  
GO G53 X = IC(50) Z = IC(100)  
GOTOF END
```

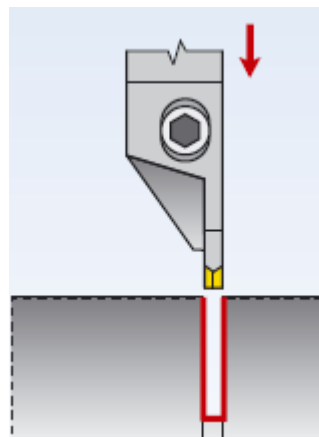
**TYP8**

```
R1=$TC_DP1[R1,R2]  
R2=$TC_DP2[R1,R2]  
R3=$TC_DP3[R1,R2]  
R4=$TC_DP4[R1,R2]  
R5=$TC_DP6[R1,R2]
```

```
IF R4>R3 GOTOF VNITRNI8
```

## MERX8:

```
$TC_DP2[R1,R2] = R2  
$TC_DP3[R1,R2] = R3  
$TC_DP6[R1,R2] = R5  
G0 G1 G53 G90 X60 Z240  
G0 G1 G53 G90 X40 Z240  
MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z35 F480  
STOPRE  
IF $AC_MEA[XX] = 1 GOTOF POKR81  
R3 = R3 + 5  
GOTOB MERX8
```





POKR81:

G0 G1 G53 G91 Z-5

R90 = \$AA\_MW[Z]

R90 = R91 - R92 + 7,7

\$TC\_DP4[R1,R2] = R90

G0 G1 G53 G91 X20

G0 G1 G53 G91 Z15

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 X-25 F480

STOPRE

R91 = \$AA\_MW[X]

R91 = R91 - R93 - 7,7

\$TC\_DP3[R1,R2] = R91

GOTOF END

### KON1 – osový nástroj

\$TC\_DP2[R1,R2] = R2

\$TC\_DP3[R1,R2] = 0

\$TC\_DP4[R1,R2] = R4

\$TC\_DP6[R1,R2] = R5

G0 G1 G53 G90 X43 Z285

MEAS = 1 G1 G53 G94 G91 Z-35 F480

STOPRE

G0 G53 G91 Z2

R90 = \$AA\_MW[Z]

R90 = R90 - R92 - 7,7

\$TC\_DP4[R1,R2] = R90

GO G53 X = IC(50) Z = IC(100)

GOTOF END

END:

M30

Z uvedených programových bloků, pro měření polohy destičky 3 a 4, je možné vidět, že měřicí cykly jsou si velmi podobné. Mění se pouze ve směrech najíždění na sondu. Při kontrole špičky je nutné pro každý nástroj naprogramovat dráhu měření.

U osového nástroje je nástroj umístěn v ose Z, proto je hodnota délky L1 nulová. Průměr nástroje udává parametr \$TC\_DP6.

## 11. ZÁVĚR

Tato práce je věnována měření nástrojů u NC soustruhů a soustružnických center pomocí dotykové sondy. První část je věnována měřícím sondám dotykovým, především pak sondám nástrojovým. Okrajově byla rozebrána možnost použití měření bezdotykového. U dotykových sond byl proveden rozbor principů funkce sond a možností použití. Dotykové sondy fungují na různých principech, které se zpravidla liší dosahovanou přesností a možnostmi použití.

Další část byla věnována samotnému použití nástrojových dotykových sond u obráběcích strojů. Byly popsány jednotlivé možnosti a principy použití, parametry sond a provedeno porovnání těchto parametrů pro sondy od výrobců Renishaw, Heidenhein, BLUM Novotest a Marposs. Rozbor se týká sond dotykových obecně, obsahuje rovněž popis funkce a principů měřících ramen pro soustruhu.

Závěrečná část je věnována praktickému využití měřící sondy a vytvoření měřících cyklů na vybraném stroji SPM16. Okrajově je probrána charakteristika stroje, řídicího systému a typické poškození VBD u obráběcích nástrojů. Byl vytvořen algoritmus možné funkční metodiky měřících cyklů a sestaven NC kód. Algoritmus nebylo na závěr možné odzkoušet na původně zvoleném stroji, vlivem poruchy PLC řídicího systému stroje. Proto, jako sekundární možnost, byla zvolena vizualizace pomocí programovacího prostředí Sinutrain, které nahrazuje řídicí systémy Sinumerik. Bohužel tento software neobsahuje nastavbu obsahující simulaci spínání a rozepínání nástrojové sondy. Proto nejsou programové moduly prakticky odzkoušené a chybí jim závěrečné doladění a odstranění nežádoucích chyb.

Byly vytvořeny programové moduly pro vybrané polohy špičky soustružnického nože a středový vrták. Pro každou zvolenou možnost byla naprogramována daná trajektorie, závisící na poloze a typu použitého nože, s kontrolou pozice špičky nástroje. Bylo zvoleno jen několik základních typů polohy bříty. Tyto příklady slouží k názorné ukázce, jak by měla metodika měření fungovat. Moduly nebyly vytvořeny pro všechny typy, jelikož programy nejsou prakticky otestovány a chybí jim odladění od chyb, Tyto chyby by se dále přenášeli do dalších modulů a jejich doladění by pak bylo příliš zdlouhavé. Rovněž byla spočtena návratnost investice při koupi měřícího ramene.



## 12. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$t_u$  – uspoředený čas

$N_h$  – náklady na hodinu práce stroje

$Z_h$  – zisk z jedné hodiny práce stroje

$n_h$  – počet hodin za směnu

$n_s$  – počet hodin za měsíc

$N_i$  – náklady na investici

$I_m$  – návratnost investice v měsících

Seznam G funkcí:

G0- rychloposuv

G1 – lineární interpolace

G18 – nastavení pracovní roviny X/Z

G53 – potlačení nulového bodu

G90 – absolutní zadávání rozměrů

G91 – přírůstkové zadávání rozměrů

G94 – posuv pod adresou F v mm/min

Seznam M funkcí

M17 – stop podprogramu

M30 – konec programu

MEAS – měření se spínajícím čidlem

F – velikost pracovního posuvu

GOTO F – skok v programu směrem ke konci bloku

GOTO B – skok v programu, směrem k začátku bloku

STOPRE – stop předběžného zpracování

## 13. SEZNAM PŘÍLOH

1. Montážní výkresy ramene HPMA

## 14. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] [www.heidenhein.cz](http://www.heidenhein.cz)
- [2] [www.renishaw.cz](http://www.renishaw.cz)
- [3] Katalog firmy Heidenhain, Sondy měření obrobků a nástrojů pro obráběcí stroje, SRN, 2008, 63 s., 208 951-C1
- [4] *Www.renishaw.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-03-08]. OMP400-kompaktní vysoce přesná dotyková sonda. Dostupné z WWW: <<http://renishaw.cz/cs/omp400-kompaktni-vysoce-presna-dotykova-sonda--6089>>.
- [5] *Www.renishaw.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-03-08]. RMP600-kompaktní vysoce přesná dotyková sonda . Dostupné z WWW: <<http://renishaw.cz/cs/rmp600-vysoce-presna-dotykova-sonda--8880>>.
- [6] *Www.renishaw.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-03-08]. Vysoce přesná ramena pro nastavování nástrojů. Dostupné z WWW: <<http://renishaw.cz/cs/vysoce-presna-ramena-pro-nastavovani-nastroju-k-soustruhum-a-brousicim-strojum--6098>>.
- [7] *Elektrika.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-03-16]. Krytí IP (popis stupňů). Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/krip030918/view>>. ISSN 1212-9933.
- [8] Manuál pro programování řídicího systému Sinumerik
- [9] Návod pro instalování a obsluhu multi operačního soustružnického poloautomatu SPM 16
- [10] *Www.mavslovakia.sk* [online]. 2004 [cit. 2011-03-16]. Příručka obrábění. Dostupné z WWW: <[www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka\\_cz.pdf](http://www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka_cz.pdf)>.
- [11] *Www.bow.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-04-16]. Soustružnické nože HM. Dostupné z WWW: <<http://www.bow.cz/produkt/3441111-soustruznicke-noze-hm-10-mm-7-ks/>>.
- [12] [www.blum-novotest.de](http://www.blum-novotest.de)
- [13] [www.pramoss.com](http://www.pramoss.com)
- [14] Křížek Michal, Návrh metodiky a vytvoření vybraných programových modulů pro nastavování a snímání defektů soustružnických nástrojů pomocí laserového měřicího zařízení, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007

## 15. PŘÍLOHY

## 1. Montážní výkresy ramene HPMA [2]

